

Instituto Tecnológico de Costa Rica



Escuela de Ingeniería Electromecánica

Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Proyecto de Práctica Profesional

“Evaluación del sistema eléctrico instalado, estudio de puesta a tierra, evaluación del factor de potencia, actualización del diagrama unifilar y diseño de Manuales de Mantenimiento Autónomo en la empresa COCORISA”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Josué Alfaro García

Lagunilla, Heredia

Noviembre, 2016



Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

Carrera evaluada y acreditada por:

CEAB

Profesor Coordinador de la Práctica:

Ing. Greivin Barahona Guzmán

Profesor Guía:

Ing. Joshua Guzmán Conejo

Asesor Industrial:

Ing. Francisco Jiménez Araya

Tribunal Examinador:

Ing. Osvaldo Guerrero Castro – Master en Gestión Energética. Profesor/Investigador de la Escuela de Ingeniería Electromecánica del ITCR.

Ing. Manuel Badilla Sánchez – Master en Gerencia de Proyectos. Ingeniero de Apoyo del Departamento de Administración de Mantenimiento (DAM) del ITCR.

Información del Estudiante

Nombre: Josué Alfaro García

Cédula: 1 1454 0073

Carné TEC: 200938837

Dirección de residencia: 150 metros oeste del Hogar de Ancianos, San Roque, Grecia, Alajuela.

Teléfono celular: 8419-2939

Email: jos.alfax@gmail.com

Información del Proyecto

Nombre del Proyecto: Evaluación del sistema eléctrico instalado, estudio de puesta a tierra, evaluación del factor de potencia, actualización del diagrama unifilar y diseño de Manuales de Mantenimiento Autónomo en la empresa COCORISA.

Profesor Asesor: Ing. Joshua Guzmán Conejo

Horario de Trabajo: Lunes a viernes de 7 a.m. a 4 p.m.

Información de la Empresa

Nombre: Corrugadora de Costa Rica S.A.

Dirección: 600 metros oeste del Cementerio Jardines del Recuerdo, Lagunilla, Heredia,
Costa Rica.

Actividad: Elaboración de cartón corrugado.

RESUMEN

La empresa Corrugadora de Costa Rica S.A., bajo las siglas COCORISA, se dedica a la fabricación y conformado de cartón corrugado y ofrece un amplio portafolio de soluciones de empaque a base de papel, para los sectores industriales, comerciales y agrícola entre otros, desde el año 1980.

Esta empresa, en conjunto con las empresas anexas Sacos y Fotolit, pertenecen al grupo Smurfit Kappa, el cual es uno de los líderes a nivel mundial, en la fabricación de empaques a base de papel, con 370 centros de operación distribuidos en 34 países, de los cuales 21 se encuentran en Europa y los 13 restantes en América. El centro de operaciones en Costa Rica se encuentra ubicado en Lagunilla de Heredia, lugar donde se ubican las tres empresas; anteriormente, la empresa Sacos se ubicaba en la provincia de Cartago.

El objetivo general de este proyecto es evaluar aspectos eléctricos y de gestión de mantenimiento autónomo en la empresa COCORISA, proponiendo recomendaciones, actualizaciones y estandarizaciones que garanticen la vida y la seguridad de sus colaboradores, así como el óptimo desempeño de sus bienes.

Se busca proporcionar a la empresa COCORISA la información necesaria para conocer el estado actual de la red eléctrica, la cual facilite la toma de decisiones y permita ejecutar medidas de rediseño pertinentes, para aumentar la confiabilidad y seguridad del sistema. Estas recomendaciones eléctricas se basan en las secciones del NEC 2008 y se establecen según los criterios de sobrecarga, sobredimensionamiento, caída de tensión y buenas prácticas eléctricas.

Mediante el levantamiento eléctrico, se diseñan documentos técnicos de información y control visual para los tableros eléctricos, que faciliten la identificación de cargas y circuitos ramales en la red eléctrica.

Se contrata el servicio para un estudio del sistema de puesta a tierra de la empresa, debido a la ambigüedad de su diseño inicial, lo que ha provocado la mezcla entre conductores de neutro y tierra, generando condiciones de operación no recomendadas. Por este motivo, se realiza un estudio para determinar el cumplimiento de la normativa vigente, en función de las condiciones de operación actuales y además, se plantean las recomendaciones necesarias,

con el objetivo de garantizar la seguridad integral del personal y de las instalaciones en general.

Este proyecto también incluye un análisis del factor de potencia, debido a la incorporación de la empresa Sacos, la cual aporta toda una línea de producción que afecta directamente este parámetro, por lo que se proyecta una demanda total por parte de las dos empresas en conjunto y se calcula la potencia reactiva necesaria para compensar el sistema, a través del factor K, con el objetivo de corregir el factor de potencia a un valor definido por el Departamento de Mantenimiento y evitar así, multas en su facturación eléctrica.

Estas mejoras comprenden la actualización del diagrama unifilar, que permita conocer la distribución eléctrica en la planta, obtener el factor de demanda de los centros de carga, la ubicación de los circuitos ramales y los datos técnicos de estos, tales como calibre de los conductores, protecciones, ductos, distancias, capacidad de cortocircuito, entre otras.

Se diseñan manuales de mantenimiento autónomo para la corrugadora, con base en los manuales de las máquinas y en los protocolos de mantenimiento ya utilizados por el personal del departamento, los cuales incluyen aspectos de inspección, limpieza, lubricación y medidas de seguridad. Cada actividad incorpora su respectiva frecuencia, duración y fotografías para su fácil interpretación e identificación, con el objetivo de establecer un mejoramiento continuo, tanto en el mantenimiento de las máquinas como en la empresa en general.

Además de las recomendaciones eléctricas obtenidas al realizar el levantamiento inicial, se proponen otras recomendaciones generales, producto de la observación e identificación de situaciones inadecuadas técnicamente, con el fin de mejorar el desempeño de las máquinas y del sistema eléctrico. Entre estas recomendaciones se incluye la contratación de servicios adicionales como el estudio de calidad de energía, estudio de cortocircuito, coordinación de protecciones y mantenimiento a la subestación (pruebas eléctricas al transformador).

Palabras clave: *Levantamiento Eléctrico, Diagrama Unifilar, Sistema de Puesta a Tierra, Factor de Potencia, Mantenimiento Autónomo, Cartón Corrugado.*

ABSTRACT

The Company Corrugadora de Costa Rica S.A. under the symbol COCORISA, along with companies related Sacos and Fotolit, belongs to Smurfit Kappa group, which is one of the leading companies worldwide in the manufacture of packaging paper-based, with 370 operating centers distributed in 34 countries, of which 21 are in Europa and the remaining 13 in America.

The operations center in Costa Rica is located in Lagunilla, Heredia, a place where the three companies are located, above the Sacos Company was located in the province of Cartago.

COCORISA Company engaged in the manufacture and forming of corrugated cardboard, offering a wide range of packaging solutions made of paper, for the industrial, commercial, agricultural and others.

The main objective of this project is to provide the company with necessary information about the state of the grid, which facilitates decision-making and allow redesign implement measures to increase reliability and security system. There electrical recommendations are based on NEC 2008 and are set according to the criteria overload, over-sizing, voltaje drop and good electrical practices.

The electrical lifting it possible to design technical papers and visual control boards, to facilitate the identification of load and branch circuits in the electrical network.

A service for a study of the system grounding in the company was hired, due to the ambiguity of its initial design, which caused the mixture between neutral and ground conductors, creating the appearance of currents in the ground mesh, it's for this reason that a study was done to determine compliance with current regulations, according to the operations conditions. The necessary recommendations are made in order to ensure comprehensive security of personnel and facilities.

This project also includes an analysis of power factor, due to the incorporation of the company Sacos, which includes an entire production line that directly affects this parameter,

so a total demand is projected by the two companies together and necessary reactive power is calculated to compensate the system, in order to correct the power factor to a value defined by the maintenance department, avoiding fines billing.

These improvements include updating the unifilar diagram, designed to show the power distribution in the plant, obtain the demand factor of load centers, the location of the branch and technical data such as wire size, protection, pipelines, distances, short-circuit and others.

Autonomous maintenance manuals for corrugating were designed, based on manuals and maintenance protocols already used by the department, which include aspects of inspection, cleaning, lubrication and security measures, each activity incorporates its respective frequency, duration, and photographs for easy interpretation, and identification, with the aim of a continuous improvement both in maintaining the machines as across the enterprise.

Some recommendations on a general level was established, through observation an identification not recommended situations, in order to improve the performance of machines and electrical system, hiring additional services included as a study of power quality, short-circuit, protection coordination and substation maintenance.

Keywords: Electric lift, Unifilar diagram, Grounding system, Power factor, Autonomous maintenance, Corrugated cardboard.

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado especialmente a mi madre Elvira García Vargas, a mi padre Carlos Luis Alfaro Campos, a mi hermano Luis Diego Alfaro García y a mi compañera de vida Yudith Rojas Bolaños, las cuatro personas más importantes en mi mundo, las cuales han estado a mi lado desde el principio, aconsejándome, apoyándome y ayudándome incondicionalmente, tanto en los momentos buenos como en los no tan buenos.

El éxito de este proyecto es para ustedes y para Dios.

Les agradezco por guiarme y enseñarme a ser una mejor persona día con día, gracias porque es por ustedes que hoy soy quien soy y estoy en donde estoy, alcanzando una de las metas más grandes de mi vida.

También dedico este proyecto a todas las demás personas que han estado apoyándome de uno u otro modo, familiares, amistades, personas que han estado ahí aportando a mi formación como persona y como profesional, durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

Gracias infinitas a Dios, por darme la fuerza, la capacidad y la convicción para concluir este proyecto con éxito, cumpliendo mis expectativas y una meta más en mi vida.

Agradezco a la Empresa COCORISA por darme la oportunidad de realizar mi práctica en sus instalaciones y por toda la ayuda brindada, al Jefe de Mantenimiento el Ing. José Varela y al Supervisor de Mantenimiento el Ing. Francisco Jiménez por su ayuda y disposición.

Agradezco también al Departamento de Mantenimiento de COCORISA, por su paciencia, su tiempo y su disposición en ayudarme en el proyecto, a Mario Cubillo y a los demás técnicos del departamento.

Doy gracias al profesor guía de la práctica, el Ing. Joshua Guzmán Conejo, por su excelente atención y ayuda en el desarrollo de todo el proyecto, sus recomendaciones y propuestas fueron vitales para la conclusión satisfactoria del trabajo.

Por último, doy las gracias a todas las demás personas que han formado parte de esta etapa de mi vida, mis amigos, familiares, compañeros y profesores, quienes me brindaron su apoyo desde mi primer día como estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	v
Abstract.....	vii
Dedicatoria.....	ix
Agradecimientos	x
CAPÍTULO I – RESEÑA DE LA EMPRESA	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.2. Misión y Visión de la empresa	3
1.1 Misión.....	3
2.1 Visión	3
1.3. Organización de la empresa.....	4
1.4. Proceso de fabricación del cartón.....	6
1.5. Situación actual de la empresa	8
CAPÍTULO II – PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	11
2.1. Objetivos.....	11
2.1.1. Objetivo General	11
2.1.2. Objetivos Específicos	11
2.2. Metodología.....	12
2.3. Justificación.....	15
2.4. Alcances.....	17
2.5. Limitaciones	19
CAPÍTULO III – MARCO TEÓRICO	22
3.1. Introducción.....	22
3.2. Voltaje	23
3.3. Resistencia.....	23
3.4. Corriente eléctrica.....	24
3.5. Potencia eléctrica.....	24
3.6. Factor de potencia.....	26
3.7. Normativa sobre diagramas unifilares	30
3.8. Conductores eléctricos.....	30

3.9. Protección contra cortocircuito.....	33
3.10. Sistema de puesta a tierra	35
3.11. Caída de voltaje	45
3.12. Manuales de mantenimiento autónomo.....	48
CAPÍTULO IV – DESARROLLO.....	53
4.1. Metodología.....	53
4.2. Levantamiento eléctrico	56
4.3. Muestra de cálculo.....	62
4.4. Recomendaciones eléctricas	74
4.5. Análisis del sistema de tierras	83
4.6. Análisis financiero.....	87
4.7. Manuales de mantenimiento autónomo.....	92
4.8. Análisis del factor de potencia.....	96
4.9. Análisis de resultados	103
CAPÍTULO V – FINALIZACIÓN	106
5.1. Conclusiones.....	106
5.2. Recomendaciones	107
CAPÍTULO VI – ANEXOS	108
CAPÍTULO VII – BIBLIOGRAFÍA.....	135

Índice de Figuras

Figura 1. Organigrama general de COCORISA.....	5
Figura 2. Flujograma del proceso de fabricación de cartón.	7
Figura 3. Triángulo de potencias	26
Figura 4. Curvas de disparo de dos disyuntores de 125 A y 250 A	35
Figura 5. Electrodo simple y su esfera de influencia sobre la tierra.....	40
Figura 6. Configuraciones de puesta a tierra	41
Figura 7. Conexión de terminales del método de los tres puntos	43
Figura 8. Conexión de terminales del método de los dos puntos	44
Figura 9. Conexión de terminales del método de los cuatro puntos.....	45
Figura 10. Conexión del equipo - Malla secundaria.....	84
Figura 11. Medición de la malla de tierras secundaria despegada de la estructura	85
Figura 12. Medición de la malla de tierras secundaria pegada a la estructura	85
Figura 13. Medición de la malla de tierras principal unida a la estructura.....	86
Figura 14. Medición de la malla de tierras principal desconectada de la estructura	86
Figura 15. Encabezado del formato para el Manual de Mantenimiento Autónomo.....	93
Figura 16. Comportamiento del factor de potencia respecto al periodo (meses)	98
Figura 17. Comportamiento del consumo de potencia activa respecto al periodo (meses)..	98
Figura 18. Placa del Mezclador (Cocina de Goma)	119
Figura 19. Placa del Agitador (Cocina de Goma)	119
Figura 20. Placa del Succionador AGNATI (Cocina de Goma)	120
Figura 21. Placa del Dosificador (Cocina de Goma).....	120
Figura 22. Tablero TA-9-3 (Abierto)	122
Figura 23. Circuitos ramales en paralelo en el Tablero TA-9-3.....	122
Figura 24. Cotización de conductores - Mundo Eléctrico	127
Figura 25. Cotización de disyuntores - Mundo Eléctrico.....	128

Figura 26. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 1	129
Figura 27. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 2	130
Figura 28. Cotización por las cajas de registro en la malla de tierras	131
Figura 29. Porcentaje de armónicos identificados en las líneas	132
Figura 30. Transformador principal de 1200 KVA abierto	133
Figura 31. Disyuntor principal y barras de neutro y tierra unificadas	133
Figura 32. Señalización de tableros con el nuevo formato.....	134

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación Fases - Objetivos - Actividades - Metas	12
Tabla 2. Fórmulas para el cálculo de potencias en distintos circuitos.....	26
Tabla 3. Selección de calibre del conductor a tierra.....	33
Tabla 4. Selección del conductor para el sistema de puesta a tierra.....	42
Tabla 5. Factores de demanda para receptáculos en unidades diferentes de vivienda.	54
Tabla 6. Datos de placa de las cargas de la Cocina de Goma.....	63
Tabla 7. Recomendaciones eléctricas del Tablero TA-9-3. Pt 1	79
Tabla 8. Recomendaciones eléctricas del Tablero A.....	79
Tabla 9. Recomendaciones eléctricas para el Tablero TA-9-3. Pt 2	80
Tabla 10. Recomendaciones eléctricas para el Tablero TA-9-3. Pt 3	81
Tabla 11. Recomendaciones eléctricas para los Tableros B, D, E, F y G	82
Tabla 12. Comparativo de cotizaciones por servicios contratados.....	88
Tabla 13. Costo asociado al calibre de los conductores	89
Tabla 14. Costo asociado a la compra de disyuntores.....	90
Tabla 15. Costo total aproximado del proyecto.....	92
Tabla 16. Reporte de facturación de consumo eléctrico.....	97
Tabla 17. Promedio de las variables eléctricas del medidor de la empresa.....	102
Tabla 18. Resultados obtenidos en el estudio de tierras	105
Tabla 19. Tabla descriptiva del Tablero B (Cuarto de Calderas)	108
Tabla 20. Tabla descriptiva del Tablero A-1 (Triturado)	109
Tabla 21. Tabla descriptiva del Tablero E (Cocina de goma)	110
Tabla 22. Tabla descriptiva del Tablero de Pruebas.....	111
Tabla 23. Tabla descriptiva del Tablero Oficinas #1 - Piso Superior.....	112
Tabla 24. Tabla descriptiva del Tablero A	113
Tabla 25. Tabla descriptiva del Tablero F.....	114

Tabla 26. Tabla descriptiva del Tablero Fotopolímeros Monofásico.....	115
Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.....	116
Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones.....	117
Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas.....	118
Tabla 31. Resistencia y reactancia de los conductores.....	121
Tabla 32. Formato del manual de mantenimiento autónomo para la cortadora master.....	123
Tabla 33. Determinación del Factor K.....	124
Tabla 34. Descripción de cargas del Tablero B (Cuarto de Calderas).....	125
Tabla 35. Descripción del Tablero de Acabado.....	126

CAPÍTULO I – RESEÑA DE LA EMPRESA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa Corrugadora de Costa Rica S.A., bajo las siglas COCORISA, fue fundada en el año 1980. Pertenece a un grupo actualmente conformado por otras dos empresas llamadas Fotolit y Sacos, todas bajo el nombre del grupo Smurfit Kappa, el cual hace aproximadamente un año adquirió el grupo CYBSA (Cajas Y Bolsas S.A), del que ya formaban parte las empresas COCORISA y Fotolit, a las cuales se agregó Sacos posteriormente.

La empresa COCORISA se dedica a la fabricación y conformado de cartón corrugado, y ofrece un amplio portafolio de soluciones de empaque a base de papel. Según los requerimientos del cliente, los servicios van desde la elaboración del cartón corrugado, hasta la impresión y ensamble de las cajas.

Cada uno de los productos, que se ofrecen al cliente, se diseña bajo las condiciones que mejor se acomoden a sus necesidades, por lo tanto, se utilizan distintos tipos de formatos para que las cajas y demás productos, cumplan con las expectativas y realicen de la mejor manera, la función para la cual fueron diseñados.

La empresa COCORISA enfoca su mejoramiento continuo, tanto en la organización, como en la eficacia del Sistema de Gestión de la Calidad, de manera que los productos entregados a sus clientes lleven las características especificadas. De igual manera, la empresa COCORISA es consciente de su responsabilidad con el ambiente y la seguridad de los colaboradores y visitantes, mediante el cumplimiento de las leyes correspondientes.

Todos los productos que ofrece la empresa son 100% reciclables y fabricados de manera sostenible, de modo que mejora el impacto medioambiental de sus clientes.

Actualmente, la empresa cuenta, en el área de corrugado, con dos máquinas corrugadoras con flautas tipo B y C, en una sola línea de producción, la cual también incluye portabobinas de papel, empalmadores, engomadores, precalentadores, una mesa de planchas, tres máquinas cortadoras y dos *stackers* o apiladores del material terminado.

En el área de impresión, se cuenta con cuatro impresoras de cartón, de las cuales solamente tres se encuentran en funcionamiento. Cada una de estas impresoras posee su propio *stacker* y algunas incluyen además una flejadora, encargada de amarrar los grupos de cajas de distintos tamaños, para ser montados en tarimas para su despacho.

Por último está la sección de acabado, donde algunas cajas se ensamblan, recortan, y se examinan para determinar su calidad, robustez y funcionalidad, antes de ser empacadas para su despacho.

En el caso de la empresa Fotolit, esta se encarga de la fabricación de cajas de cartón plegable impreso, mientras la empresa Sacos se dedica a la fabricación de bolsas de papel. (Smurfit Kappa, 2016).

La empresa COCORISA cuenta con aproximadamente 130 personas, distribuidas entre los distintos departamentos, como por ejemplo Mantenimiento Industrial, Producción, Ventas, Facturación, Computación, Gerencia, además del personal de operación y limpieza.

La planta en su totalidad se encuentra administrada por el gerente Ing. Óscar Sabogal Arbelaez, quien es el encargado de cumplir con los requerimientos impuestos por la casa matriz de Smurfit Kappa, ubicada en Irlanda.

1.2. MISIÓN Y VISIÓN DE LA EMPRESA

1.1 Misión

Ser líderes en soluciones de empaques, satisfaciendo oportunamente nuestros compromisos de innovación, calidad, cantidad, precio y buen servicio.

2.1 Visión

Mantener bases sólidas para que nuestra organización sea confiable, mediante el compromiso ético y moral de nuestras relaciones.

Proveer a nuestros colaboradores un desarrollo personal, enfocado en satisfacer las necesidades de los clientes, proveedores y accionistas.

Ser proactivamente responsables del medio ambiente y la comunidad donde operamos.

1.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

La estructura organizacional de la empresa se encuentra conformada por un conjunto de departamentos, cada uno con un enfoque y función distintos, las cuales se complementan para integrar las columnas que sostienen la empresa.

La planta se encuentra regida por el Gerente General, el Ing. Óscar Sabogal Arbelaez; un nivel por debajo del Gerente General se encuentran el Gerente de Ventas Rafael Serrano Babi y el Gerente de Manufactura Óscar Arcia Rodríguez.

El siguiente nivel se encuentra conformado por las jefaturas de los distintos departamentos de la empresa. Para el caso del Departamento de Mantenimiento Industrial, la estructura consiste en la Jefatura de Mantenimiento, conformada por los ingenieros José Varela y Francisco Jiménez, en un segundo nivel se encuentran los técnicos de mantenimiento industrial y en un tercer nivel los operarios de las máquinas.

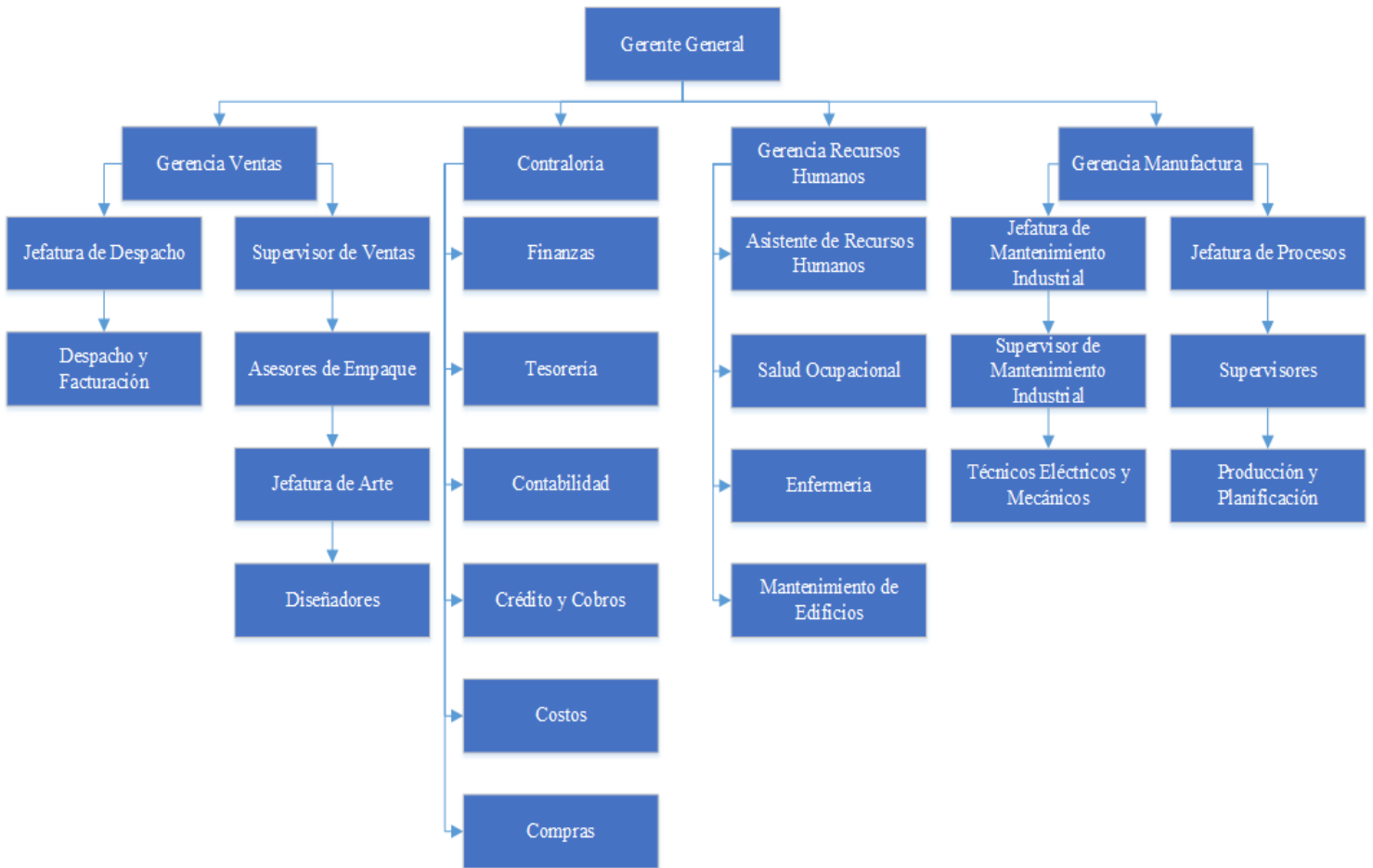
El nivel jerárquico que adopta la empresa se encuentra ilustrado en la Figura 1. Organigrama general de COCORISA..

La distribución de la planta en cuanto a procesos de fabricación, se divide en tres secciones, la primera se encuentra conformada por la sección de “Corrugado”, en este sector se ubica la máquina corrugadora, la cual es la encargada de la fabricación y corte del cartón, que es el producto principal de la empresa.

La segunda sección se conoce como “Impresión” y está integrada por cuatro impresoras industriales, cuya función es, como su nombre lo indica, plasmar sobre el cartón algún diseño o leyenda, de acuerdo con los requerimientos del cliente. Algunas de las cajas, que se encargan, no requieren de ninguna impresión, por lo tanto, se llevan directamente a la última sección.

Esta última sección se conoce como “Acabado” y su finalidad es la de empacar el producto terminado para se despache al cliente. Esta sección incluye los procesos de pegado, recorte, compactación y emplastado Una vez que se termina el producto, se ubica en la sección de bodega, para ser despachado al cliente.

Adicionalmente, la planta cuenta con secciones no industriales como la soda, la enfermería y las oficinas de los distintos departamentos, así como baños y vestidores.



Fuente: Departamento de Recursos Humanos – Smurfit Kappa
 Figura 1. Organigrama general de COCORISA.

1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CARTÓN

Las cajas de cartón corrugado ofrecen varias ventajas, en relación con los demás sistemas de empaque existentes en el mercado, ya que poseen una alta resistencia a los impactos y esfuerzos, son ligeras, lo que las hace fáciles de transportar y manipular, y por último, su costo de fabricación es relativamente bajo, debido a que en la mayoría de los casos se producen de material reciclado o parcialmente reciclado, el cual es más maleable que el papel que no ha sido reciclado, por lo que brinda mayor resistencia.

El proceso inicia con un rollo de papel parcialmente reciclado, suspendido por un portabobinas, cuyo ancho se encuentra en función del tamaño de la caja por fabricar; este papel ingresa a la máquina corrugadora y pasa a través de dos rodillos cuya circunferencia tiene la forma ondulada del corrugado y que coinciden entre sí. A estos se les inyecta vapor internamente para calentarlos y que el proceso se desarrolle correctamente. Al papel corrugado se le conoce “flauta” y posee mayor resistencia y dureza. El término corrugado viene de “arrugar”, efecto que mejora sus propiedades mecánicas del papel utilizado.

Cuando el papel corrugado sale de las flautas, otro rodillo tiene la función de impregnar de pegamento una de sus caras, este pegamento se produce a base de agua y almidón, de manera que no contamine el contenido que la caja va a almacenar, posteriormente; otro rodillo de papel liso se junta a la cara con pegamento de la flauta, luego, este proceso se repite por la otra cara, para formar las láminas de cartón que posteriormente se convertirán en cajas.

Las ondas del papel corrugado crean una bolsa de aire entre la flauta y las caras externas, la cual le da firmeza al cartón; inclusive, algunas cajas requieren propiedades específicas, como utilizar dos láminas de papel corrugado y tres de papel liso, de manera que se aumente aún más la robustez del empaque.

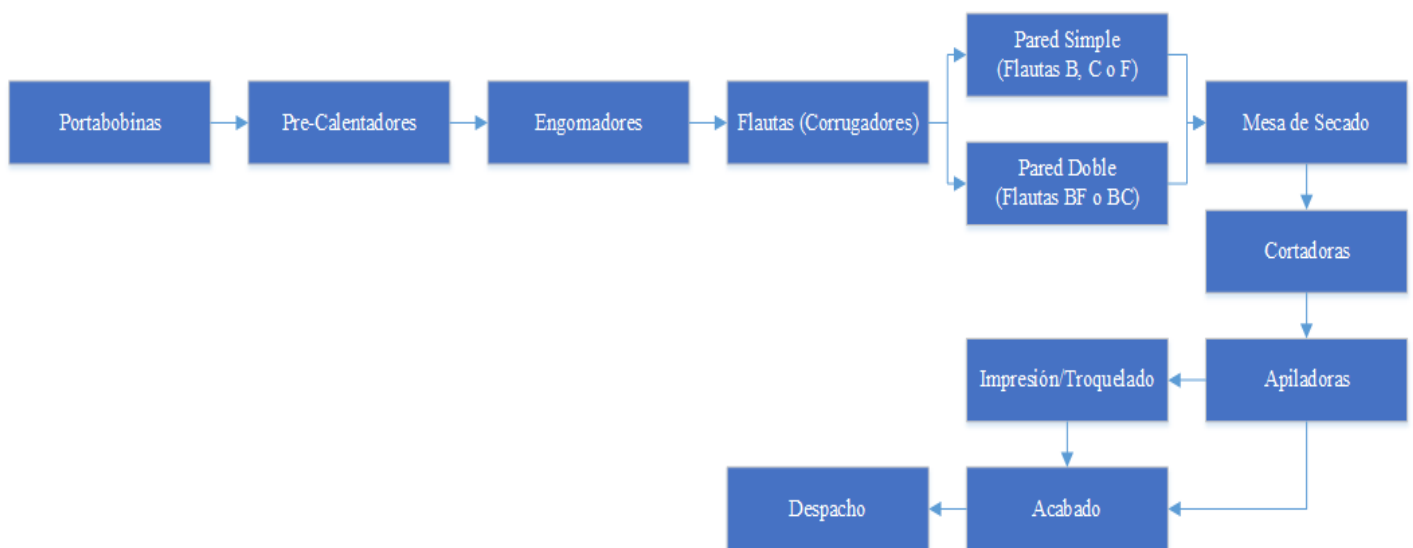
El espesor de la flauta puede variar en función del acolchado que se requiera para el empaque; una vez que se tiene la lámina de cartón, se pasa por una serie de máquinas con cuchillas, las cuales recortan sus bordes, luego otra que corta la lámina de cartón en piezas individuales, dándole un “ancho” al cartón según se requiera y por último, se pasa a través de otra máquina que le da el “largo” a la caja. Una vez cortados, los cartones se separan en capas y se agrupan mediante los *stackers*.

La siguiente etapa del proceso consiste en la impresión, si se requiere de algún diseño en la caja, proporcionado por el cliente, o bien por otro rodillo con troqueles, que corta la lámina dependiendo del tipo y tamaño de caja que se requiera. Luego se agrupan en lotes de 25 a 80 cartones, dependiendo de su espesor.

Las cuchillas de los troqueles se encuentran rodeadas de esponja recortada, para que el corte sea más preciso en el momento de formar las tapas, los recortes sobrantes de esta etapa se recolectan y se mandan a reciclar mediante succionadores, los cuales llevan los recortes a una tolva, que los deposita en una embaladora, la cual los apila en pacas para enviarse a reciclar.

Por último, se pasa a la etapa de empaque, donde las láminas de cartón se apilan, empacan y se envían al cliente para su ensamble y uso. (Manual de inducción, 2016).

En la Figura 2. Flujograma del proceso de fabricación de cartón, se muestra la cadena de procesos implementados durante la fabricación del cartón corrugado.



Fuente: Departamento de Producción – Smurfit Kappa

Figura 2. Flujograma del proceso de fabricación de cartón

1.5. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

El objetivo general de este proyecto se basa en suministrar a la empresa la información necesaria para evaluar y conocer el estado actual de la red eléctrica, su distribución, datos técnicos y demanda para cada uno de los centros de carga y ramales que conforman el sistema eléctrico de la empresa, para ser estructurada en un solo documento, así como implementar manuales de Mantenimiento Autónomo para las máquinas que conforman la corrugadora.

Esta situación implica que se han ejecutado modificaciones a la red eléctrica, de las cuales no se cuenta con registro alguno, razón por la cual se dan pérdidas de tiempo considerables en la búsqueda de cargas y ramificaciones. En algunos casos, en un mismo disyuntor se encuentran conectados hasta dos circuitos independientes, los cuales alimentan tableros que a su vez mantienen otras cargas, o bien, algunos tableros se alimentan directamente de las barras de otro tablero, con lo que se incrementa el riesgo de una sobrecarga, que pueda dañar los equipos o al personal de la planta.

Para los casos en que se tienen dos circuitos independientes, conectados a un mismo disyuntor, lo recomendable es incorporar el circuito en paralelo, a un tablero, ya sea el que se encuentra en paralelo con este, o bien, a otro tablero de conveniencia, tomando en consideración factores como la distancia, el factor de demanda y los espacios disponibles. Este circuito se incorpora al tablero, mediante un disyuntor correctamente seleccionado, y analizando si es necesario cambiar también el disyuntor principal de ese circuito ramal.

Una vez recopilada toda la información se procede a estructurarla en un nuevo diagrama unifilar, el cual incluya todos los aspectos técnicos requeridos por los usuarios para la fácil interpretación y ubicación de una determinada carga, en la distribución de la planta.

Actualmente, la empresa cuenta con un diagrama unifilar desactualizado, el cual no contempla algunas cargas o tableros que se han incorporado al sistema con el paso del tiempo, o bien otras cargas que han sido sustituidas o eliminadas de la red, por lo que la información que este contiene es ambigua y no está validada con lo que se encuentra realmente instalado.

Algunos de los tableros poseen una lista de cargas conectadas, que se han sustituido por otras, las cuales no fueron reportadas, dando información errónea que puede incidir en un accidente, o bien, algunas cargas fueron eliminadas pero no su conexión o su disyuntor,

motivo por el cual en algunos tableros se logró detectar cargas muertas y disyuntores que estaban solamente ocupando un espacio dentro del tablero, el cual podría ser utilizado para otras cargas.

Actualizar el diagrama unifilar de la planta, representa para la empresa un nuevo punto de partida, el cual pueden utilizar como referencia, para balancear de mejor manera las cargas en los tableros e implementar una redistribución de circuitos, para evitar sobrecargas en las fases, que permita minimizar algunas distancias de estos, a las cargas y conocer la cantidad de carga disponible en los tableros (carga instalada) respecto a la carga demandada por el circuito.

Como parte de las mejoras propuestas en la actualización del diagrama unifilar, se propone establecer una identificación general para todos los tableros, transformadores y cargas distribuidas por toda la planta, lo que implica etiquetar los anteriores con el nuevo formato, el cual se estableció en conjunto con la jefatura del departamento de mantenimiento.

Entre los factores más críticos que afectan la red eléctrica, se presenta un deficiente sistema de puesta a tierra, por lo que la empresa no se encuentra correctamente aterrizada, situación que no es nada recomendable, debido a la inseguridad que esto representa para el personal de la planta. Esta situación se puede dar por diversos motivos, por lo que es necesario realizar un estudio de tierras, para determinar el funcionamiento de las barras, la correcta ubicación y el estado de estas.

El estado del sistema de tierras, presenta la combinación de conductores “neutros” con conductores de “tierra” en algunos de los tableros, según el Código Eléctrico de Costa Rica (Decreto 36979, según el MEIC – Ministerio de Economía, Industria y Comercio 2012), la única unión entre estos dos sistemas debe darse únicamente en la salida del transformador principal, en donde al mismo tiempo se conecta la malla de tierras principal de la empresa. (NEC, 2008).

Otra situación, relacionada con el sistema de tierras, se presenta en la incorporación de una malla de tierras adicional a la red, la cual se conectó en paralelo a un conductor de tierra en la entrada del cuarto de compresores, para aterrizar un tablero. Esta situación debe corregirse, para mantener un sistema de tierras unificado.

Recientemente se dio la incorporación a la red eléctrica de la empresa Sacos, la cual se va a alimentar a partir del mismo transformador principal, el cual alimenta a su vez a la empresa COCORISA. Esta nueva carga, a pesar de que la potencia del transformador soporta adecuadamente, las dos empresas en conjunto, el factor de potencia sí se ve afectado por esta demanda adicional, producto del nuevo equipo incorporado.

Antes de la incorporación de la empresa Sacos a la red de COCORISA, el factor de potencia de esta última se mantenía fluctuante entre 0,85 y 0,99 dependiendo de la demanda, rango que se va a ver perjudicado con la nueva demanda, por lo que es necesario realizar un análisis del factor de potencia, con el objetivo de calcular la cantidad de potencia reactiva, que se necesita incorporar al sistema, para mantener este factor sobre el 0,9 mínimo establecido por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

A finales del mes de junio e inicios de julio, se presentó una situación en la empresa que repercutió de manera considerable en la facturación de esos meses, ya que se disparó una fase del banco principal de capacitores, estado que mantuvo por al menos dos semanas. Esta condición llevó el factor de potencia de un 0,9 a un 0,7 que ocasionó multas considerables por parte de la ESPH, se pudo haber evitado o controlado de mejor manera, si se llevara un control más frecuente de las variables eléctricas bajo las que opera la empresa.

Adicionalmente, la empresa no cuenta con un manual de mantenimiento autónomo para la corrugadora, por lo que los procedimientos de limpieza se realizan durante paros programados para mantenimiento, motivo por el cual, algunas secciones e incluso algunas máquinas, se encuentran en estado de suciedad leve o moderada.

Un manual de mantenimiento autónomo permite estandarizar, las labores de limpieza e inspección para las distintas máquinas. A su vez, facilita la detección de fallas potenciales y fugas, antes de que estas se manifiesten, por lo que se puede actuar antes de que suceda alguna eventualidad, aumentando la seguridad y la confiabilidad de la empresa.

CAPÍTULO II – PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo General

- Evaluar aspectos eléctricos y de gestión de mantenimiento autónomo, en la empresa COCORISA, proponiendo recomendaciones, actualizaciones y estandarizaciones, que garanticen la vida y la seguridad de sus colaboradores, así como el óptimo desempeño de sus bienes.

2.1.2. Objetivos Específicos

1. Realizar un levantamiento del sistema eléctrico en la empresa COCORISA, considerando características técnicas como carga instalada, demandas, conductores, protecciones y equipos en general.
2. Realizar un estudio del sistema de puesta a tierra actual de la empresa COCORISA, mediante procedimientos de medición sistemáticos que determinen su estado y capacidad, en función de la demanda actual.
3. Analizar el comportamiento del factor de potencia con la incorporación de la empresa Sacos, mediante un perfil carga aproximada, que proyecte una potencia reactiva requerida por el sistema, cuando se da la demanda máxima de potencia por parte de ambas empresas.
4. Elaborar un diagrama unifilar actualizado, que incorpore las modificaciones recientes y las nuevas cargas instaladas, según los requerimientos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
5. Estandarizar el formato de un manual de mantenimiento autónomo, en las máquinas que conforman la corrugadora, como requerimiento del plan de excelencia operacional, definido por el grupo Smurfit Kappa.

2.2. METODOLOGÍA

Tabla 1. Relación Fases - Objetivos - Actividades - Metas

<u>FASE</u>	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>ACTIVIDADES</u>	<u>METAS</u>
Organización	➤ Elaborar una propuesta de anteproyecto para la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un cronograma de trabajo. • Cumplir con los requerimientos del anteproyecto. 	Anteproyecto aprobado.
Información	➤ Realizar el levantamiento eléctrico general.	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información del sistema eléctrico. • Tabular toda la información en formatos definidos. • Plantear las recomendaciones necesarias. 	Levantamiento eléctrico.
	➤ Realizar un estudio del sistema de puesta a tierra de la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • Sub-contratar el servicio de medición. • Evaluar el estado del sistema de puesta a tierra. • Plantear las recomendaciones necesarias. 	Análisis del sistema de puesta a tierra.
Análisis	➤ Proyectar el comportamiento del factor de potencia, con la incorporación de la empresa Sacos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar el impacto en la demanda de potencia total, por parte de la empresa Sacos. • Establecer un perfil de carga aproximado para las dos empresas, cuando la demanda es máxima. • Calcular la potencia reactiva requerida por el sistema para compensar el factor de potencia. 	Análisis del factor de potencia.
Diseño	➤ Elaborar el diagrama unifilar actualizado de la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseñar el diagrama unifilar actual. • Incorporar nuevos ramales y cargas en general. 	Diagrama unifilar actualizado.
	➤ Estandarizar el formato para un Manual de Mantenimiento Autónomo.	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar el formato propuesto por el grupo Smurfit Kappa a la empresa COCORISA. • Diseñar un Manual de Mantenimiento Autónomo para las principales máquinas de la empresa. 	Manual de Mantenimiento Autónomo.

La tabla anterior muestra una vista general de la metodología del proyecto, que permite contextualizar los objetivos específicos, en función de las actividades realizadas, en busca de las metas establecidas.

Los siguientes planteamientos representan una versión más ampliada de la metodología del proyecto.

1. Realizar un levantamiento del sistema eléctrico: Se recopila toda información existente, referente al equipo industrial y general, registros físicos y/o digitales que la empresa posea.

Entre la información requerida se encuentran los manuales de las máquinas en operación, bitácoras de rediseños o modificaciones, reportes de cambios de equipo, catálogos con los datos técnicos de los circuitos, ramales, datos de placa, entre otros.

Esta etapa incorpora la medición y las acciones para obtener datos y variables eléctricas, ya sea midiendo directamente en los conductores que alimentan cada equipo o tomando estos parámetros a partir de las fichas técnicas o datos de placa de estos.

Con base en esta información, se puede dimensionar tanto el calibre de los conductores, como la capacidad de los disyuntores termo-magnéticos de tiempo inverso, tanto para las cargas como para los tableros, siguiendo con los planteamientos que propone el Código Eléctrico de Costa Rica.

Utilizando como referencia los artículos del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad (NEC), se selecciona la capacidad de los elementos requeridos por el sistema, bajo las condiciones actuales de operación, implementando los factores de corrección necesarios para la correcta selección de componentes, como el factor de carga y el factor de simultaneidad, así como aumento de calibres por caídas de voltaje, con el objetivo de sustituir aquellos que no operen bajo las condiciones recomendadas.

Entre los elementos por seleccionar se incluyen: el calibre de los conductores, tanto para las líneas “vivas” como para el conductor “neutro” y de “tierra”, los disyuntores termo-magnéticos, capacidad de los tableros y centros de carga, entre otros.

2. Realizar un estudio del sistema de puesto a tierra: Mediante procedimientos de medición sistemáticos, se busca determinar el estado actual y funcionalidad del sistema de puesto a tierra de la empresa.

Se cotiza con los proveedores para la medición respectiva. Los métodos más utilizados son el “*Método de caída de potencial (Tres Puntos)*” y el “*Método Directo (Dos Puntos)*”. Este rediseño busca asegurar, que todas las partes sin corriente como carcazas, armazones y tableros, se encuentren siempre al potencial de tierra, en caso de un fallo en el aislamiento de la red. (Rojas, 2016).

Otra de las funciones asociadas al sistema de tierras, es la de proteger los equipos ante cualquier sobretensión, desviando cualquier contingencia a la malla de tierras, además de brindar protección a los usuarios, funcionando como medida de seguridad, para el personal de la planta de producción.

3. Analizar el factor de potencia: Por una serie de factores externos, la contratación de un estudio, de calidad de energía, no se pudo ejecutar en el periodo de realización del presente proyecto; sin embargo, se cotizó con varias empresas para su posterior ejecución y se realizó un comparativo de estas.

Se establecieron perfiles de carga aproximados, con base en datos reales de consumo y variaciones en el factor de potencia de la planta, con el fin de determinar los valores críticos, en los cuales este valor cae por debajo del 0,9 permitido.

Se proyecta una demanda de potencia total, por parte de ambas empresas y se define un valor de factor de potencia al que se quiere llegar, con el fin de definir un valor de potencia reactiva, que deba ser agregada al banco de capacitores.

Esta cantidad de potencia reactiva requerida por el sistema, busca un mejor aprovechamiento de la energía.

Actualmente, la empresa cuenta con un banco de capacitores principal y otro auxiliar de menor tamaño, la energía capacitiva destinada a compensar la nueva demanda propuesta por la empresa Sacos, será incorporada al banco principal de capacitores.

4. Actualizar el diagrama unifilar: Una vez recabada toda la información, los datos recopilados, los resultados de los estudios propuestos y los análisis implementados, se procede a estructurar el nuevo diagrama unifilar de la empresa, con base en el existente.

Se integran las correcciones propuestas con los elementos incorporados y detalles faltantes en el diagrama existente y además, se incorporan las secciones de la red más recientes, las cuales no aparecen en dicho documento.

El nuevo diagrama unifilar contiene detalles y datos técnicos, necesarios para su fácil interpretación, lectura y ubicación, además, brinda información necesaria para realizar un análisis de cortocircuito y coordinación de protecciones.

5. Elaborar manuales de mantenimiento autónomo: Con base en el formato establecido por la empresa, en el programa de excelencia operacional de la corrugadora, se busca integrar la información existente en los manuales de los equipos, así como los procedimientos ya establecidos por el Departamento de Mantenimiento, en un solo documento, el cual sea accesible y fácil de interpretar por parte del operador de dicha máquina.

Para el desarrollo de esta etapa, se tomaron fotografías de los puntos y espacios de las máquinas, en los que se hace referencia en dichos manuales, con el fin de facilitar la ubicación e identificación de elementos, dependiendo de la tarea que se vaya a realizar, en cada uno de los equipos implicados.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto busca proteger la vida y la seguridad del personal y los bienes de la empresa, mediante la identificación de elementos que no han sido correctamente seleccionados, que no se han conectado según las buenas prácticas eléctricas y/o que simplemente no existen, en el caso de ser requeridos.

Su objetivo general es evaluar aspectos eléctricos y de gestión de mantenimiento autónomo, proponiendo recomendaciones, actualizaciones y estandarizaciones que garanticen la seguridad de sus colaboradores y el óptimo desempeño de sus bienes.

Además, busca el manejo de información de distinto tipo, conocer lo que hay, lo que no hay y se necesita, así como lo que sí hay pero no funciona correctamente. El levantamiento eléctrico permite conocer el sistema eléctrico de la empresa, facilitando la toma de decisiones, la selección y sustitución de elementos dañados, la desconexión de ramales para

realizar labores de mantenimiento y las labores, todo con la idea de reducir tiempos muertos y con ello reducir costos.

Parte de la señalización y asignación de referencias espaciales, a los tableros y cargas, forma parte de un plan de mejora continua, que se encuentra implementando la planta; la designación de cargas mediante la elaboración de estos documentos, forma parte del control visual, e implica la señalización de elementos y cargas, así como elementos de peligro y advertencias en general.

La actualización del diagrama unifilar no solo facilita el acceso a la información de la red eléctrica, sino que es un requisito fundamental para toda empresa, como manejo de documentos especializados, ya que en caso de una auditoría, un diagrama unifilar desactualizado puede ocasionar sanciones o multas de distinto tipo.

El estudio del sistema de puesta a tierra es necesario para garantizar, no solamente la seguridad de los empleados y operarios de las máquinas, sino también la de cualquier persona que transite dentro de las instalaciones, sea cual sea su función.

La minimización de riesgos, tanto para el personal como para la integridad física de los equipos e instalaciones, justifica no solamente la ejecución del estudio de tierras, sino también la futura implementación del estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones, como medios para dimensionar el equipo de protección personal, en el momento de realizar trabajos eléctricos en “caliente” y ajustar los disyuntores a los valores óptimos de disparo, para minimizar el impacto en la red, en caso de un siniestro.

El análisis de factor de potencia mediante los perfiles de carga, permiten determinar el comportamiento de la demanda de potencia, las horas y meses de mayor consumo y su respectivo costo asociado. Estos perfiles de carga permiten calcular, la cantidad de potencia reactiva que se le debe inyectar a la red eléctrica, mediante capacitores, para elevar este valor, evitando penalizaciones, por lo que su objetivo fundamental consiste en la disminución de costos de facturación, producto de multas por un bajo factor de potencia.

Un estudio del perfil de carga es un análisis más profundo, que permite determinar la presencia y porcentaje de armónicos en la red eléctrica, los cuales distorsionan la onda

senoidal de la tensión a través de la red, ocasionando pérdidas y sobrecalentamiento en las líneas.

Los manuales de mantenimiento autónomo forman parte de un estándar propuesto por el grupo Smurfit Kappa, en busca de la excelencia operacional que deben cumplir todas las sucursales bajo este nombre. Estos documentos aumentan la confiabilidad de los equipos y generan un sentimiento de pertenencia en los operadores, al sentirse involucrados en labores de mantenimiento básico en el equipo que operan, lo que da como resultado la reducción de paros, por fallas potenciales, que no fueron detectadas a tiempo. También busca mejorar el aspecto visual de la planta en general y el aumentar la vida útil de los equipos.

2.4. ALCANCES

Este proyecto comprende el análisis de la red eléctrica de la empresa, el cual involucra una etapa de reconocimiento de todos los elementos instalados en el sistema, cada uno con sus datos técnicos, conexiones y demás información importante, que comprende un levantamiento eléctrico. En esta etapa, busca recolectar toda la información de la red, permitiendo conocer la totalidad de las cargas instaladas con su respectivo consumo, la capacidad de carga de los tableros, su distribución y las demás variables eléctricas que el CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos) establece, todo con el objetivo de facilitar el manejo de información, en el momento de evaluar y tomar decisiones, referentes a alguna modificación del sistema eléctrico.

El levantamiento eléctrico también permite conocer, la capacidad instalada en cada uno de sus tableros, en caso de requerir incorporar nuevas cargas a las existentes, identificando campos libres y porcentajes de utilización bajos.

Parte de ese análisis eléctrico, involucra la creación de una referencia general para todos los tableros y cargas, que integran la red eléctrica de la planta; además, se establece un formato de descripción de las cargas de los tableros, el cual indica la referencia asociada a cada una de las cargas y tableros, la posición de cada circuito en el tablero eléctrico, así como la descripción de cada uno de los circuitos y por último, se indica también la capacidad del disyuntor que protege cada uno de los circuitos, así como el número de polos.

Una segunda etapa del análisis eléctrico comprende, la identificación de las cargas que no cumplan con las condiciones de operación, en función de la ampacidad, según los artículos del Código Eléctrico de Costa Rica, por lo que se establece un cuadro de recomendaciones, el cual comprende la sustitución de disyuntores, por capacidades mayores o menores a las instaladas, según sea el caso, así como el cambio de calibre de los conductores por valores más altos. Todas las recomendaciones se establecen en función de cuatro criterios, los cuales se amplían en la sección de recomendaciones, del presente informe.

Cada una de las recomendaciones eléctricas propuestas se encuentran ligadas de forma directa, a un costo establecido en función de la inversión, permitiendo estructurar un análisis financiero de los costos de ejecución del proyecto, con el fin de proyectar un total de la inversión inicial. A este análisis financiero, se le incorporan los costos de los servicios subcontratados, tanto para el análisis del sistema de tierras, como para los demás servicios brindados, que no forman parte de este proyecto. El levantamiento eléctrico realizado en las etapas anteriores, es la base para la actualización del diagrama eléctrico unifilar de la planta, el cual estructura toda la información compilada en un solo documento, que permita acceder de manera rápida y fácil a cualquier dato necesario, minimizando los tiempos muertos en caso de un problema.

A este documento se le añadieron datos adicionales, como el modelo de cada disyuntor, además de la corriente de cortocircuito de este, con el objetivo de establecer las bases para la ejecución de un posible estudio de cortocircuito.

Un estudio de cortocircuito permite conocer el potencial eléctrico que la empresa posee, con base en el cual se selecciona el EPP necesario, para realizar labores de mantenimiento en algunos paneles, en función de la carga instalada y de la capacidad de cortocircuito en algún tablero o carga específica.

Como parte de los servicios subcontratados, se incorpora un estudio del sistema de tierras de la empresa, el cual busca diagnosticar el estado actual de las tierras de red en general, plantear las recomendaciones pertinentes y su ejecución, con el objetivo de mejorar la seguridad del personal y de los equipos críticos del sistema. Este análisis también busca corregir una situación, que se identificó en el transcurso de este año, la cual permitió detectar la presencia de corrientes, en el conductor de tierra, situación que representa una condición

de peligro, debido a que los equipos pueden no estar correctamente aterrizados, lo cual incrementa el riesgo de accidentes, producto de una descarga eléctrica.

Los manuales de mantenimiento autónomo, diseñados para las máquinas principales de la planta, forman parte de la excelencia operacional buscada por el Grupo Smurfit Kappa, con el objetivo de cumplir con sus estándares mundiales en calidad. Estos manuales permiten detectar fallas potenciales, minimizando los tiempos por fallas en las máquinas, aumenta la confiabilidad de los equipos y la seguridad de los operadores, mejora el aspecto visual de la empresa y brinda mayor control en las labores de mantenimiento, con enfoques a la mejora continua.

Los entregables del proyecto incluyen el presente informe final, el levantamiento eléctrico, los resultados del análisis del sistema de tierras, el análisis del factor de potencia, el diagrama unifilar actualizado del sistema y los manuales de mantenimiento autónomo para la corrugadora, así como las memorias de cálculo realizadas, las tablas de información de los tableros como parte del levantamiento eléctrico, las cotizaciones de los servicios subcontratados y la tabla de recomendaciones propuestas.

2.5. LIMITACIONES

Como primer limitante del proyecto, se presenta la falta de información o ambigüedad de esta, con un diagrama unifilar muy básico y datos distintos a los instalados en la red eléctrica. Se presenta la situación, de que solamente una persona es la que conoce a grandes rasgos toda la red eléctrica y sus conexiones. El técnico eléctrico, quien realiza todas las conexiones y reparaciones en la planta, es quien tiene una idea clara de toda la distribución eléctrica de esta, por lo que toda esa información es manejada solamente por una persona.

Ante la ausencia de reportes referentes a algunas modificaciones de la red, se han realizado trabajos eléctricos provisionales que buscan solamente minimizar los tiempos muertos, para poder continuar con el proceso productivo, pero muchas veces no se programa una reparación que corrija de manera definitiva la falla, por lo que algunas acciones provisionales se convierten en permanentes, de modo que se incumple con las disposiciones planteadas por el Código Eléctrico de Costa Rica (Decreto 36979, MEIC 2012), situación que conforme pasa el tiempo, se olvida y se convierte en una falla potencial que puede ocasionar un accidente.

Dadas estas condiciones, a pesar de las pruebas realizadas, algunos de estos problemas no pudieron ser correctamente identificados por lo que no se consideraron.

Otra situación actual que se presentó en la empresa, en el momento de realizar el levantamiento eléctrico, fue la reestructuración de las oficinas del piso inferior, por lo que las cargas que alimentan ese tablero fueron asumidas como tomacorrientes e iluminación para cinco oficinas, por lo que los datos pueden variar un poco respecto a los reales, al no conocer las cargas reales de las nuevas secciones, inclusive algunos de los circuitos de ese tablero fueron eliminados, por lo que se recomienda, una vez terminada la obra, actualizar la información del tablero con los datos reales de carga.

La ausencia de equipo especializado de medición, tanto para el análisis de tierras como para cualquier otro tipo de medición especial, es el motivo más relevante de porqué se subcontratan algunos de los servicios; el precio de los equipos y su frecuencia de uso respecto a la orden de compra, por los servicios requeridos, es un incentivo para tomar este tipo de decisiones, dada la frecuencia con que este tipo de análisis se realiza, entre los principales equipos requeridos se podría considerar: un *Megger* de tierras, un medidor de variables eléctricas (Fluke), entre otros.

La ausencia de manuales, de algunas de las máquinas, representó una tarea de búsqueda y recolección de información, sobre parámetros de funcionamiento, características eléctricas, capacidades, tiempos de operación, entre otras variables. Para los manuales de mantenimiento autónomo, algunos equipos no disponían de un documento técnico, por lo que la información necesaria para estos, se estableció en conjunto con el Departamento de Mantenimiento de la empresa COCORISA, con base en los procedimientos de mantenimiento y lubricación, que utilizan actualmente los técnicos, en las máquinas implicadas en este proceso.

Otra de las limitantes del proyecto, fue el corto plazo de ejecución, el cual se ve reducido por procedimientos de revisión y protocolos ya establecidos; la magnitud del proyecto es considerable, por lo que algunos de los rubros que se pensaba incluir en el proyecto, no pudieron ser incorporados por diversas razones, las cuales se amplían en las secciones posteriores.

Como se mencionó anteriormente, desde el mes de julio y hasta finales de noviembre, la empresa Sacos, se ha venido incorporando poco a poco al plantel de COCORISA. Dado el poco tiempo de ejecución del proyecto y el plazo restante para conocer el impacto real de dicha empresa, no se va a poder contemplar el efecto en el factor de potencia de la planta en general, debido a que actualmente la empresa Sacos solo se encuentra operando de manera intermitente y a un 60% de demanda, aunque eventualmente el estudio se debe realizar, acción que forma parte de las recomendaciones del presente informe.

Los procedimientos para la gestión de contrataciones, de servicios externos a la empresa, conllevan una duración considerable, desde que se envía la cotización, hasta el momento en que se aprueba la orden de compra para los servicios.

Para el análisis de tierras, se requirió la elaboración de unas cajas de registro más grandes, para las varillas que conforman la malla de tierras, por lo que fue necesario contratar a una empresa para que llevara a cabo este trabajo. El proceso se tomó alrededor de 20 días para comenzar las obras, sin las cuales no se podía proceder con el estudio del sistema de puesta a tierra de la empresa.

CAPÍTULO III – MARCO TEÓRICO

3.1. INTRODUCCIÓN

La electricidad es una de las más importantes manifestaciones de la energía existente, es producto de un fenómeno físico que implica un flujo de electrones, a través de un medio conductor, debido a una diferencia de potencial entre dos puntos; la energía eléctrica se requiere para utilizar, básicamente, cualquier tipo de artefacto de uso diario, tanto en el ámbito industrial como en el residencial.

En la industria, la electricidad incorpora aún más variables y conceptos, debido a que ya no solo se requiere una cierta cantidad de energía, sino que también debe tener asociado un grado de calidad, que involucre no solamente estabilidad de sus variables, sino la continuidad en el servicio que se brinda.

Bajo esta condición, la compañía que suministra la energía eléctrica debe garantizar al usuario niveles óptimos en las componentes eléctricas como tensión y frecuencia, hasta la subestación de la empresa. Esto implica que la regulación de todas las variables, a partir de ese punto, debe ser manejada por la empresa, mediante elementos de protección (disyuntores, fusibles), elementos de transmisión y distribución (conductores, tableros, transformadores), entre otros.

Estos elementos, en conjunto con los demás equipos y cargas, conforman la red eléctrica de la empresa, que representa la columna vertebral de toda la planta industrial.

Conocer el sistema eléctrico de la empresa, con sus respectivos componentes y cargas, es de suma importancia para esta. Debido a que el manejo de información puede ser un factor fundamental, en el momento de tomar una decisión, permite conocer los alcances del sistema eléctrico y facilita la ejecución de labores de mantenimiento.

3.2. VOLTAJE

El voltaje se conoce también como tensión eléctrica. Se define como el trabajo que ejerce el campo eléctrico sobre una partícula cargada; para moverla de una posición a otra, a través de un medio conductor, se mide en voltios (V). (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

El voltaje representa el desnivel eléctrico existente entre dos puntos de un medio conductor, y se manifiesta como la fuerza de la corriente eléctrica, ya que a mayor voltaje, mayor será la fuerza con la que fluyen los electrones.

Esta variable se regula mediante transformadores de voltaje, los cuales utilizan los principios de la inducción electromagnética basada en la Ley de Ampere, donde las corrientes que atraviesan las bobinas generan un campo magnético fluctuante, el cual, mediante un proceso inverso, induce una corriente eléctrica en los devanados secundarios, a la salida del transformador. La relación transformativa funciona en relación con las vueltas entre el devanado primario respecto al número de vueltas del devanado secundario. (Chapman, 2000)

3.3. RESISTENCIA

La resistencia eléctrica se define, como una medida de oposición al paso de los electrones, durante el flujo de una corriente eléctrica. Es inversamente proporcional a la distancia transcurrida y a la sección transversal del conductor, por lo que a una mayor distancia, utilizando un calibre de conductor alto (área transversal pequeña), la resistencia será mayor, se mide en ohm (Ω). (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

La resistencia no solamente depende de estos factores, sino también del material del conductor, debido a que cada material posee una resistencia específica, la cual se conoce como “resistividad de un material”; esta última, la resistencia con la sección transversal de un conductor y con el largo de este, se mide en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

La temperatura es otra variable que afecta directamente la resistividad de un conductor; dicha condición se puede presentar por operar en ambientes calientes o bien por sobrecarga en las líneas, la cual genera sobrecalentamiento, factor que puede producir un cortocircuito, si se llega al punto de falla del aislamiento del conductor.

3.4. CORRIENTE ELÉCTRICA

La corriente se conoce también como intensidad eléctrica. Se define como un flujo de carga por unidad de tiempo, que recorre un medio conductor. Existen dos tipos de corriente eléctrica, la corriente directa y la corriente alterna. La corriente directa o corriente continua representa un flujo continuo de electrones, a través de un conductor que separa dos puntos de distinto potencial, donde las cargas eléctricas siempre circulan en la misma dirección. Por otro lado, la corriente alterna representa un flujo fluctuante, donde la magnitud y dirección de sus componentes varía de forma cíclica, con un comportamiento oscilatorio, comúnmente senoidal o periódico. (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

La corriente eléctrica se relaciona con el voltaje y con la resistencia mediante la conocida Ley de Ohm, la cual establece que la corriente que fluye entre dos puntos, es proporcional a la relación entre la diferencia de potencia existente entre esos dos puntos, y la resistencia ligada al medio por el cual fluye.

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

3.5. POTENCIA ELÉCTRICA

Universalmente, la potencia se define como la cantidad de trabajo realizado en función del tiempo, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (\text{Watt o } J/s)$$

Este mismo concepto, pero aplicado al área eléctrica, se puede expresar como la relación entre el paso de energía eléctrica, que fluye por un medio conductor, por unidad de tiempo. (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

Otra definición de este concepto explica la potencia como la cantidad de corriente eléctrica que absorbe un dispositivo eléctrico, en un tiempo determinado. (Bermejo, 2009)

En el campo de la electricidad, la potencia tiene variantes que se definen en función de la configuración o propiedades de la red eléctrica; por ejemplo, se puede hablar de potencia para corriente directa expresada como:

$$P = V * I \quad (W)$$

Para el caso de la corriente alterna, se consideran dos variantes de la potencia, conocidas como potencia monofásica y potencia trifásica, las cuales se expresan de la siguiente manera:

$$P_{2\phi} = V * I * f_p \quad (W)$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V * I * f_p \quad (W)$$

La potencia eléctrica se encuentra constituida por tres componentes básicos: la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente.

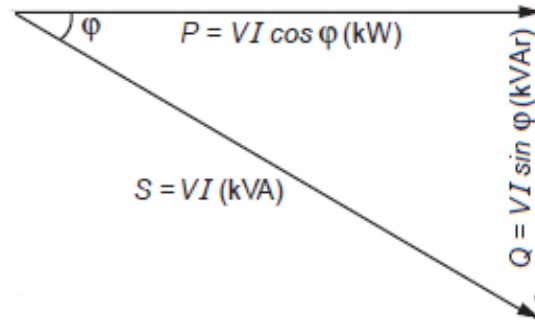
- Potencia activa: Representa la energía que es directamente consumida por los dispositivos eléctricos, es la variable medible y facturable por parte de la compañía que brinda el suministro eléctrico a la planta, se designa con la letra P y se mide en términos de Watts (W). (Bermejo, 2009)
- Potencia reactiva: Representa la cantidad de energía que es demandada por el equipo eléctrico, pero no es consumida por este, debido a su principio de funcionamiento, este tipo de potencia no es medible por parte de la compañía que brinda el servicio eléctrico, se designa con la letra Q y se mide en Volt-amperios reactivos (VAr). (Bermejo, 2009)

En la industria, algunos equipos como motores y transformadores requieren de la potencia reactiva para generar un campo magnético, como parte fundamental de su funcionamiento, aunque este tipo de potencia no produce trabajo por sí misma.

- Potencia aparente: Representa la energía eléctrica total o suma geométrica, conformada por la potencia activa y la potencia reactiva; es la que finalmente debe ser transportada hasta los equipos que la consumen, los cuales toman la corriente alterna y la convierten mediante rectificadores en corriente continua; pero esta transición genera un desfase de la corriente, alterando su forma senoidal, lo que se ve reflejado como un bajo factor de potencia; la potencia aparente se designa mediante la letra S y se mide en Volt-amperios (VA). (Bermejo, 2009)

Estas tres componentes de la potencia eléctrica, se encuentran interrelacionadas mediante el llamado “Triángulo de Potencias”, mediante el cual se permite inferir en la fórmula que relaciona las tres variables:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (VA)$$



Fuente: (Rodriguez Bailey, 2013)

Figura 3. Triángulo de potencias

3.6. FACTOR DE POTENCIA

Se define como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$f_p = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}}$$

Este factor adimensional se encuentra comprendido entre 0 y 1, un factor de potencia cercano a la unidad, indica que la energía reactiva del sistema es baja, en relación con la potencia activa, por lo que es menor la energía que no se utiliza o se está “desperdiciando”; si esta relación se aproxima a cero, la condición es opuesta. (Schneider, 2008)

En la siguiente tabla se muestran las fórmulas utilizadas para calcular los tipos de potencia anteriores, bajo diferentes configuraciones de circuitos eléctricos.

Tabla 2. Fórmulas para el cálculo de potencias en distintos circuitos

Tipo de circuito	Potencia aparente S (kVA)	Potencia activa P (kW)	Potencia reactiva Q (kvar)
Monofásico (fase y neutro)	$S = VI$	$P = VI \cos \varphi$	$Q = VI \sin \varphi$
Monofásico (fase a fase)	$S = UI$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$
Trifásico 3 hilos o 3 hilos + neutro	$S = \sqrt{3} UI$	$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$

Fuente: Schneider Electric, 2008

Una carga inductiva, que presenta un bajo factor de potencia, provoca que algunos equipos industriales entreguen potencia reactiva a la red, lo que se refleja en un retraso de la tensión del sistema en 90° , generando pérdidas de energía y caídas de tensión. (Schneider, 2008)

Una potencia reactiva es positiva (Q+) cuando el ángulo de la potencia aparente (S) es positivo para cargas inductivas, debido al atraso que presenta la corriente respecto al voltaje, lo que representa un factor de potencia en atraso (fp-), cuando estas condiciones se encuentran invertidas (ángulo de S negativo, factor de potencia en adelante), la potencia reactiva es negativa. (Rodríguez Bailey, 2013)

Una potencia reactiva positiva (Q+) se relaciona con la generación de campos magnéticos, que muchos equipos requieren para operar, debido a su principio de funcionamiento, mientras una potencia reactiva negativa (Q-) se relaciona con la generación de campos eléctricos para tener voltaje, como es el caso de las líneas de transmisión. (Rodríguez Bailey, 2013)

Este desfaseamiento entre la tensión y la corriente, es utilizado para cuantificar la cantidad de energía que está siendo aprovechada, de manera que un bajo factor de potencia va a generar repercusiones en la empresa, no solamente en términos eléctricos, sino también económicos.

Entre las consecuencias de un bajo factor de potencia, se encuentran:

- Incremento de las pérdidas por efecto *joule*
 - Calentamiento de conductores.
 - Calentamiento de embobinados de transformadores.
 - Disparo injustificado de dispositivos de protección.
- Sobrecarga de generadores, transformadores y líneas de distribución
 - Exceso de corrientes.
- Aumento de la caída de tensión
 - Pérdida de potencia transportada.
 - Mal funcionamiento de equipos sensibles.
 - Pérdidas de potencia de salida de los equipos industriales.

➤ Incremento en la facturación eléctrica

- Penalización económica por bajo factor de potencia.

El objetivo principal de corregir un bajo factor de potencia, es evitar la penalización o multa impuesta por la compañía que suministra la energía eléctrica, producto de la energía reactiva en la red.

Existen varios métodos para evitar un bajo factor de potencia, ya sea suministrando potencia reactiva a la red, mediante condensadores o motores sincrónicos, controlando la potencia reactiva requerida mediante controladores estáticos, o bien, desconectando de la red, los motores y transformadores que no posean carga. (Rodríguez Bailey, 2013)

El método más comúnmente utilizado para compensar la pérdida de carga por un bajo factor de potencia, consiste en incorporar a la red eléctrica un banco de capacitores, este o estos elementos se pueden utilizar en varias configuraciones.

- Compensación individual en motores: Una compensación individual, como su nombre lo indica, hace referencia a que, por cada elemento que consuma potencia inductiva, se va a incorporar un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. Se implementa principalmente en elementos de gran consumo de carga inductiva, operan en forma continua y se puede ejecutar de dos maneras:

- Compensación individual de motores eléctricos: Al ubicarse junto a cada carga inductiva que se requiere corregir, las potencias reactivas circulan únicamente por los conductores que conectan el motor con el capacitor, siendo un lapso corto, lo que permite confinar esta potencia reactiva, a una pequeña sección de la red. Entre las ventajas de esta configuración, se encuentra la posibilidad de eliminar los dispositivos de control del capacitor, ya que el arrancador del mismo motor puede ser utilizado como interruptor del capacitor; además, estos capacitores se encuentran funcionando, únicamente cuando el motor se encuentra en operación y las líneas quedan descargadas de potencia reactiva.

Por otro lado, de este procedimiento también se obtienen algunas desventajas, como el costo implicado en la compra de capacitores

independientes y este es más elevado, respecto al costo de un capacitor individual de la misma capacidad equivalente.

- **Compensación individual en transformadores de distribución:** El banco de capacitores se dimensiona para compensar la potencia reactiva consumida por el transformador en vacío. Su función es evitar fenómenos de resonancia y sobretensiones de vacío; por normativa, la potencia total del banco de capacitores no debe exceder el 10% de la potencia nominal de dicho transformador en VA.

- **Compensación en grupos de cargas:** Se utiliza esta configuración cuando se tiene un grupo de cargas, que operan de forma continua y demandan potencia reactiva de forma simultánea, o bien, cuando se tienen varios grupos de cargas, separados por una distancia considerable.

Entre las ventajas de esta configuración se encuentra la facilidad de crear grupos de cargas con tiempos de operación similares, por lo que la compensación se realiza de manera conjunta para todo el grupo. Esto permite unificar las cargas y facilitar su control, además, el costo de inversión inicial es menor y solamente se utilizará cuando las cargas se encuentren funcionando.

- **Compensación centralizada:** Consiste en instalar un solo banco de capacitores en la acometida de la red eléctrica de la empresa, de modo que la potencia total de este sea entregada a los tableros de distribución adyacentes, para compensar la demanda de potencia reactiva, por parte de los equipos que alimentan.

Esta potencia total del banco de capacitores, es controlada por un regulador automático, el cual se encarga de meter y sacar etapas del banco, para regular de manera óptima el factor de potencia, el cual ha sido previamente establecido.

Entre las principales ventajas se encuentran la mejor utilización del potencial del banco de capacitores y una mejor regulación de voltaje. La potencia reactiva entregada se suministra en función de la demanda de esta y es fácil supervisarlos.

- **Compensación combinada:** Una compensación combinada consiste en la mezcla de un banco de capacitores central, con alguna de las otras configuraciones anteriores, como alguna máquina específica que tenga compensación individual

o bien, que se tenga un grupo de cargas compensadas en algún sector de la red eléctrica.

3.7. NORMATIVA SOBRE DIAGRAMAS UNIFILARES

El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), establece las condiciones y requerimientos mínimos que debe cumplir un plano eléctrico, en el momento de ser presentado para su respectiva aprobación. En el “Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros edificios” (CFIA, 2004), en su Capítulo 3, se especifican los requerimientos mínimos que debe cumplir un plano unifilar eléctrico en el momento de ser diseñado.

Se citan a continuación los artículos referentes al diseño y presentación de planos unificilares:

- 3.2.4. a – *“Calibre de acometidas, elementos de protección, elementos de medición, alimentadores principales, subalimentadores, sistemas de puesta a tierra, identificación de tableros de distribución y centros de carga según diseño de la planta.”*
- 3.2.4. b – *“Cuando la carga instalada amerite la instalación de un transformador o un banco de transformadores, indicar el tipo de conexión (estrella o delta), voltajes de operación y capacidad instalada en kilovatio-amperios, indicando el factor de potencia del sistema. Asimismo, detalles constructivos de bóvedas de transformadores, cuartos de control, cuartos para planta de emergencia, encierros y toda infraestructura que aloje sistemas de transformación de voltaje o corriente.”*
- 3.2.4. c – *“Diagrama de trayectorias de canalizaciones para alimentadores de acometida a tableros y subtableros y sus características (tipo, dimensiones, etc.).”*
(CFIA, 2004)

3.8. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos son los medios a través de los cuales se transporta la energía eléctrica, son diseñados con materiales de muy poca resistividad como el cobre, oro, hierro

y aluminio, con sus respectivas aleaciones y se encuentran estructurados por una serie de capas que conforman una protección para estos, como el aislamiento, que encapsula al conductor y evita que entre en contacto con otro conductor o algún objeto que pueda ocasionar una descarga eléctrica, la capa semiconductor, el blindaje o pantalla y la chaqueta o cubierta. (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

Existe una serie de criterios técnicos, que deben ser considerados en el momento de seleccionar un conductor, para alimentar una determinada carga; entre las principales consideraciones se encuentran las eléctricas (ampacidad, aislamiento, tensión, factor de potencia), las térmicas (resistividad térmica, compatibilidad ambiental, aislamiento), las mecánicas (flexibilidad, resistencia, contaminación) y las químicas (aceites, llamas, luz solar) entre otras. (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

Se presentan en distintos calibres y deben cumplir con las normas propuestas por el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2008). Entre las disposiciones generales que establece para la selección de conductores en instalaciones eléctricas se encuentran las siguientes:

- En la sección 210.19 (A)(1) del Capítulo 2 establece, que los conductores que alimentan una determinada carga, deberán tener una capacidad de corriente no menor a la demanda máxima de dicha carga; cuando en el circuito ramal hay presencia de cargas continuas, el calibre mínimo del conductor del circuito ramal, antes de la aplicación de los factores de corrección, debe tener una ampacidad no menos al 125% de la corriente nominal de la carga continua,
- En la sección 430.6 (A) del Capítulo 4 se especifica que la selección del calibre de los conductores que alimentan motores de aplicaciones generales, se selecciona con base en la corriente en plena carga, indicada en las Tablas 430.247, 430.248, 430.249 y 430.250 para cada tipo de motor; tanto para corriente directa, como para corriente alterna.
- En la sección 430.22 (A) del Capítulo 4 se especifican las condiciones, para la selección del calibre de los conductores que alimentan un solo motor para una aplicación de servicio continuo, la cual indica que el conductor no debe tener una ampacidad inferior al 125% de la corriente a plena carga, de dicho motor por alimentar.

- En la sección 110.14 (C) del Capítulo 1 se especifican los límites de temperatura para la selección de conductores, ya que establece que los anteriores no deben ser seleccionados a una temperatura menor a la nominal más baja de cualquier terminal. En la Tabla 310.16 se muestran los calibres estandarizados con sus respectivos valores de ampacidad, en función de la temperatura, la cual puede ser seleccionada a 60°C, 75°C o 90°C. Si la corriente por soportar no supera los 100A, se puede utilizar la columna de temperatura de 60°C; en caso de que la corriente supere los 100A, es recomendable utilizar la columna de 75°C o en casos especiales la de 90°C.

Una recomendación, en el momento de seleccionar el calibre de los conductores, es basarse en la corriente para utilizar la columna de 60°C o la de 75°C, pero seleccionar ese mismo calibre de la columna de 90°C que es de tipo THHN. (Barahona, Electricidad Básica, 2014)

- En la sección 215.2 (A) (1) del Capítulo 2 se especifican las condiciones para la selección del calibre de los conductores alimentadores de tableros. Establece que la ampacidad del calibre del alimentador, de un determinado tablero, no debe ser menor al 125% de la corriente nominal de la carga continua mayor, más la suma del 100% de la corriente nominal de las demás cargas conectadas a dicho tablero.
- La selección del calibre del conductor a tierra, para los circuitos ramales, se encuentra establecida por la Tabla 250.122 del Capítulo 2 del NEC, la cual menciona que el calibre de este conductor debe ser seleccionado, en función de la capacidad del dispositivo de protección, contra sobrecorrientes, que protege dicho ramal; por lo tanto, la corriente que circula por dicho ramal, debe ser inferior a la determinada en esta tabla, para cada calibre establecido.

Tabla 3. Selección de calibre del conductor a tierra

Table 250.122 Minimum Size Equipment Grounding Conductors for Grounding Raceway and Equipment

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: (NEC, 2008)

3.9. PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO

En la industria, son utilizados diversos tipos de protección para los equipos, contra alteraciones en las condiciones normales de las variables eléctricas, bajo las cuales operan. El tipo de protección más comúnmente utilizado, tanto en el campo industrial como residencial, es el disyuntor o *breaker*, como se conoce popularmente.

Un disyuntor es un dispositivo que tiene la función de interrumpir la alimentación de energía eléctrica en un circuito ramal, cuando la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de él, excede sus valores nominales de operación, debido condiciones de sobrecarga

producto de un cortocircuito, con el objetivo de proteger el equipo. (Barahona, Selección de Disyuntores, 2014)

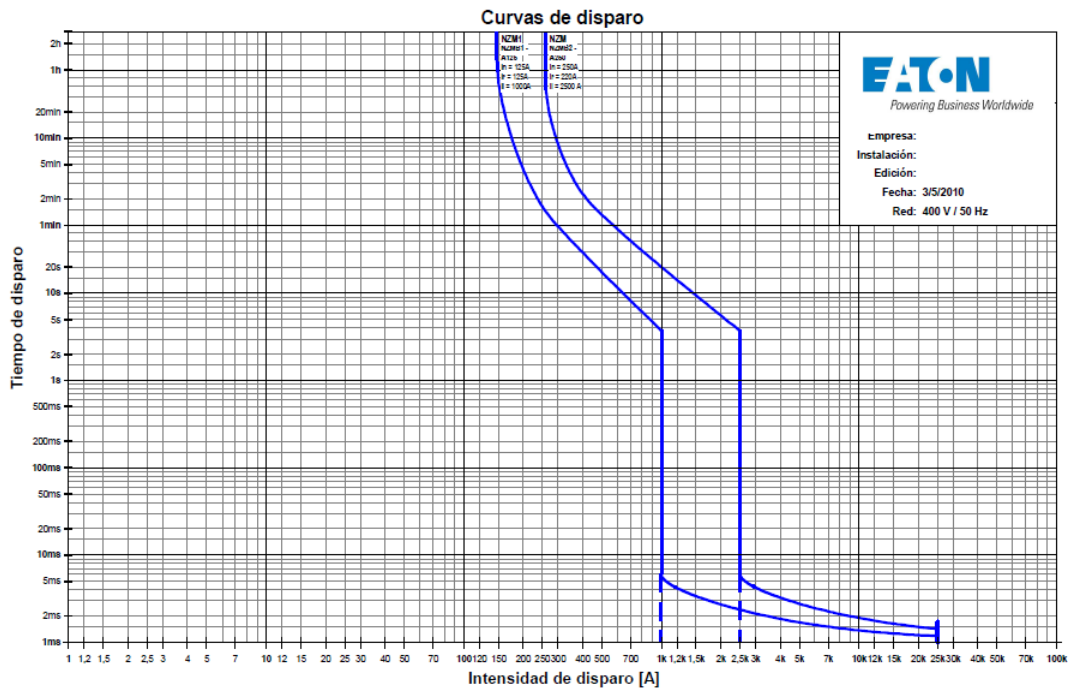
Otro tipo de protección contra cortocircuito es el fusible, pero este tiene la desventaja, de que una vez que se dispara no puede ser rearmado nuevamente, por lo que tiene que ser reemplazado por un dispositivo nuevo, a diferencia del disyuntor, que puede ser rearmado, una vez que se ha corregido el problema que ocasionó el disparo inicialmente.

Los disyuntores son utilizados, no solamente para proteger circuitos ramales, sino que también se utilizan como protección principal, para viviendas e industrias. Claramente, su tamaño y robustez varían en función de la demanda de carga instalada.

Existen distintas marcas y modelos de disyuntores, los cuales especifican su tamaño, robustez, capacidad de disparo y capacidad de cortocircuito.

Para cada modelo de disyuntor, existen valores de ampacidad específicos y curvas de disparo estandarizadas; estas últimas representan la cantidad de corriente que el disyuntor puede soportar. En función del tiempo, este concepto es importante en el momento de realizar una coordinación de protecciones, ya que permite calibrar estas curvas de disparo, en función de las curvas de los disyuntores, pertenecientes a circuitos ramales secundarios, permitiendo no solo controlar, sino también contener la sobrecorriente, en un sector específico de la red.

En la siguiente figura, se muestran las curvas de disparo de dos disyuntores con capacidades distintas, uno de 125 A y otro de 250 A, donde estas nunca se llegan a tocar; esta configuración asegura que ante una sobrecorriente o condición de falla, el disyuntor de 125 A se va disparar primero que el de 250 A, lo que garantiza encapsular dicha falla, aislándola del sistema. Este es el principio básico de la coordinación de protecciones en una red.



Fuente: (EATON, *Curvas de disparo y regulación de interruptores automáticos*, 2008)

Figura 4. Curvas de disparo de dos disyuntores de 125 A y 250 A

3.10. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El equipo de protección personal, utilizado por las personas que trabajan en la empresa, como zapatos dieléctricos y gafas de seguridad, no son los únicos elementos que buscan aumentar la seguridad y la integridad física de quienes integran el equipo de trabajo.

El concepto de “puesta a tierra”, no se debe encapsular únicamente para las industrias, ya que las instalaciones eléctricas residenciales, también precisan de un electrodo conectado a tierra, conformado usualmente por una varilla de cobre, en la base de la acometida principal de la vivienda.

La malla de tierras de una empresa, es un elemento de gran importancia, en términos de seguridad; no solamente para las personas sino también por las máquinas y equipos de la planta, en los cuales interfieren múltiples factores, que van desde la resistividad propia del lugar donde se encuentre la malla, hasta las condiciones climáticas características de la ubicación geográfica de la empresa.

Todas estas variables, que pueden influir en el buen accionar de una malla de tierras, son las que se han comenzado a tomar en cuenta, motivo por el cual se han desarrollado mejores técnicas y equipos especializados, que puedan brindar un panorama más preciso, de las condiciones del sistema de conexión a tierra general, de la planta.

Según el Ing. Gregor Rojas, los objetivos principales del sistema de conexión a tierra de una empresa, consisten en:

- *"Habilitar la conexión a tierra en sistemas con neutro a tierra."*
- *"Proporcionar un punto de descarga para las carcasas, armazón o instalaciones."*
- *"Asegurar que las partes sin corriente, tales como armazones de los equipos, estén siempre a potencial de tierra, aún en el caso de fallar el aislamiento."*

(Rojas, 2016)

Antes de continuar, es necesario establecer algunos conceptos generales en torno a lo que integra un sistema de puesta a tierra, por lo que se definen los siguientes conceptos.

- Tierra de protección: Son las conexiones que se realizan entre los equipos y la barra de tierras con el objetivo de limitar las tensiones que puedan generarse en estos, producto de descargas atmosféricas, fallas de conexión o aislamiento en los conductores, que puedan exponer al personal a una descarga eléctrica.
- Conductor de puesta a tierra: Es el medio de unión entre los elementos que desean aterrizar y la malla de electrodos; consiste en un conductor que se conecta intencionalmente a la barra de tierras y garantiza la conexión física entre las carcasas y armazones, con una referencia de potencial de tierra.
- Electrodo de puesta a tierra: Consiste en una varilla de cobre desnudo, usualmente de tres metros de largo, que se entierra de preferencia cerca de la acometida, para establecer un contacto físico con el suelo. En las residencias se utilizan uno o dos electrodos para la puesta a tierra, mientras en la industria se pueden llegar a utilizar hasta seis varillas verticales, conectadas entre sí, para conformar la malla de tierras. También existen mallas compuestas de varillas horizontales, e incluso combinaciones entre ambas.

- Puente de unión: Se conoce también como barra de tierras y es el único punto, donde el conductor de tierra debe unirse con el conductor neutro. Proporciona la conductividad eléctrica entre todas las terminales de tierras conectadas a las cargas.
- Resistencia de la tierra: Propiedad física del terreno, característica de la ubicación geográfica de la empresa, representa la resistencia que ofrece el suelo al paso de la corriente eléctrica, depende de la resistividad y del área de los conductores utilizados para conectar la malla con la barra de tierras.
- Resistividad de la tierra: Se conoce como la relación entre la tensión de la malla con respecto a la tierra de referencia y la corriente que pasa a tierra a través de la malla. Esta propiedad se puede ver afectada por elementos propios del suelo, como la cantidad y calidad de sales minerales presentes en él; terrenos arcillosos o de climas lluviosos, son los que presentan mediciones de resistividad más bajas. (Rojas, 2016)
- Diferencia entre neutro y tierra: La función del conductor neutro en un sistema eléctrico, consiste en transportar las corrientes de retorno provenientes de las cargas que alimentan las líneas vivas. Por otro lado, el conductor a tierra cumple la función de transportar las corrientes no deseadas o descargas eléctricas, fuera del sistema eléctrico de la planta, de manera que no afecten equipos o generen condiciones de riesgo, para las personas que interactúan de manera cotidiana con la maquinaria y equipo en general.
Se dice que el conductor a tierra es una seguridad primaria de los equipos contra el *shock* eléctrico, por lo que combinar estos conductores en otro punto que no es la acometida, anula la seguridad, dejando al personal expuesto a una descarga, en caso de que el conductor de neutro se interrumpiera. (Rojas, 2016)
Conectar la línea de neutro con la de tierra, también permite desahogar las corrientes de desbalances provenientes de las cargas y tableros, únicamente por el neutro, lo que permite mantener el voltaje entre estos conductores en cero. (Astorga, 2006)

Existen varios tipos de sistemas de tierras, como por ejemplo:

- Sistema de tierras para protección personal: Como su nombre lo indica, cumple la función de evitar una descarga eléctrica a los operadores, técnicos o empleados de manera general, en caso de entrar en contacto con alguna superficie energizada. Usualmente se encuentra conectada a la carcasa o armazón de equipos y estructuras metálicas.
- Sistema de tierras para descarga de rayos: Cumple la función de establecer una ruta directa de descarga de corriente eléctrica, desde el punto de impacto hasta el suelo. Este sistema utiliza una o varias varillas independientes a la malla de tierras principal de la empresa.
- Sistema de tierras para referencia electrónica: Los sistemas electrónicos presentan una menor tolerancia a las variaciones en la tensión o sobrecorrientes; este sistema de tierras permite estabilizar esos valores de tensión, llevando el potencial de estas tarjetas electrónicas a cero.
- Sistema de tierra de supresor de transientes: Este sistema cumple la función de proteger a los equipos, ante variaciones severas de voltaje que puedan dañar sus componentes, al punto de quemarlos, por lo que el sistema debe descargarlos a la malla de tierras de la empresa.
- Sistema de descarga estática: Algunos equipos electrónicos pueden generar estática, que interfiere con otros equipos y genera pequeñas descargas eléctricas a las personas adyacentes; mayormente se presenta en cuartos de oficinas.

(Barahona, Puesta a Tierra, 2014)

Las buenas prácticas eléctricas, en el momento de realizar un diseño del sistema de puesta a tierra, mejoran el desempeño de los equipos y aumentan la seguridad de los usuarios.

Algunos de los cuidados que deben tomarse en cuenta, en el momento de diseñar un sistema de puesta a tierra son los siguientes:

- Los conductores a tierra deben ser dimensionados a la distancia correcta, de manera que no se realicen empalmes, entre dos puntos de conexión.
- Los conductores a tierra no deben ser colocados en tubería o *conduit* metálico, para evitar la propagación de voltajes no deseados por todo el sistema de tuberías.
- En los puntos en los que se unen los conductores de tierra, con algún punto específico, ya sea tableros, varillas o transformadores, se debe utilizar soldadura exotérmica o conectores de compresión.
- La barra de tierras debe ser estandarizada y contener los elementos necesarios, como terminales de doble hueco con conectores de presión.
- Los conductores a tierra no deben estar rodeados de abrazaderas de metal.
- Uno de los requerimientos más importantes, en el diseño de un sistema de tierras, consiste en evitar que estos conductores, en el momento de ser instalados, tomen curvas pronunciadas que generen reactancias inductivas, las cuales puedan impedir el paso de las corrientes de descarga, producto de una sobrecarga.

(Barahona, Puesta a Tierra, 2014)

El sistema de tierras de protección contra rayos, cumple la función de mantener a un mismo potencial, la entrada del rayo (pararrayos), con una masa (suelo), para que este pueda ser evacuado de la manera más eficiente a la tierra, sin generar ramificaciones que se puedan perder en la red eléctrica de la empresa.

Entre las condiciones para el diseño de un sistema de tierras de protección de pararrayos, se encuentra que el calibre del conductor no debe ser inferior a un # 2/0, con una configuración de 32 hilos, trenzado.

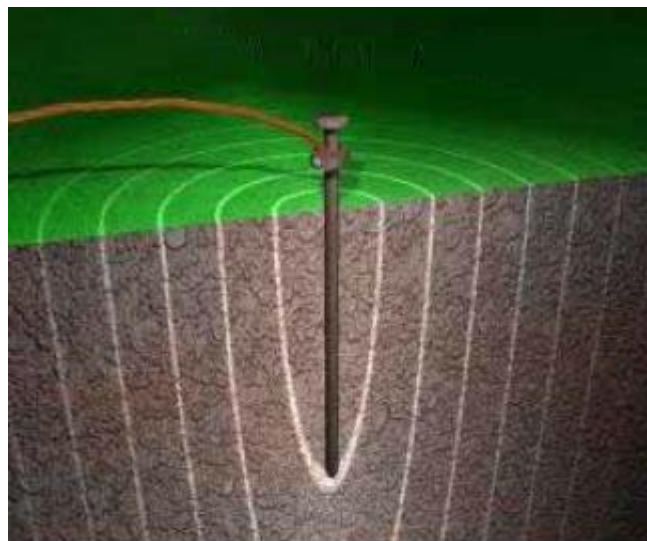
El suelo en el cual se establece la malla de tierras, depende de las propiedades químicas que ese terreno posea, el valor ideal de resistencia del suelo, en el momento de instalar una malla de tierras, es menor a 1Ω .

En el momento de tomar las mediciones respectivas del suelo, se debe tener en consideración que la resistencia se compone de tres factores.

1. La resistencia asociada al mismo electrodo con el que se realiza la medición: Esta se refiere a los aspectos constructivos propios de los electrodos, usualmente son de materiales bastante conductivos y de baja resistencia como el cobre desnudo.

2. La resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra misma: Es importante que la superficie de contacto, entre los electrodos y la tierra, sea directa y que se evite cualquier tipo de contaminación, como restos de pintura, aceite y grasa, que puedan interferir con la función del electrodo.
3. La resistencia del suelo en el que se ejecuta la medición: Es la más influyente de todas, se representa mediante conos circundantes en los alrededores del electrodo, los conos más cercanos a este tienen un área menor, lo que representa una mayor resistencia respecto a los conos, que se encuentran ubicados a diámetros más lejanos del centro del electrodo, los cuales presentan una resistencia más baja, hasta el punto en que la resistencia alcanza un valor constante, tal y como se muestra en la siguiente figura.

(Agulleiro, 2016)



Fuente: (Agulleiro, 2016)

Figura 5. Electrodo simple y su esfera de influencia sobre la tierra

La relación entre la resistencia asociada a cada uno de los radios de los diferentes conos, se expresa como:

$$R = \frac{\rho * \Delta r}{2\pi * r^2}$$

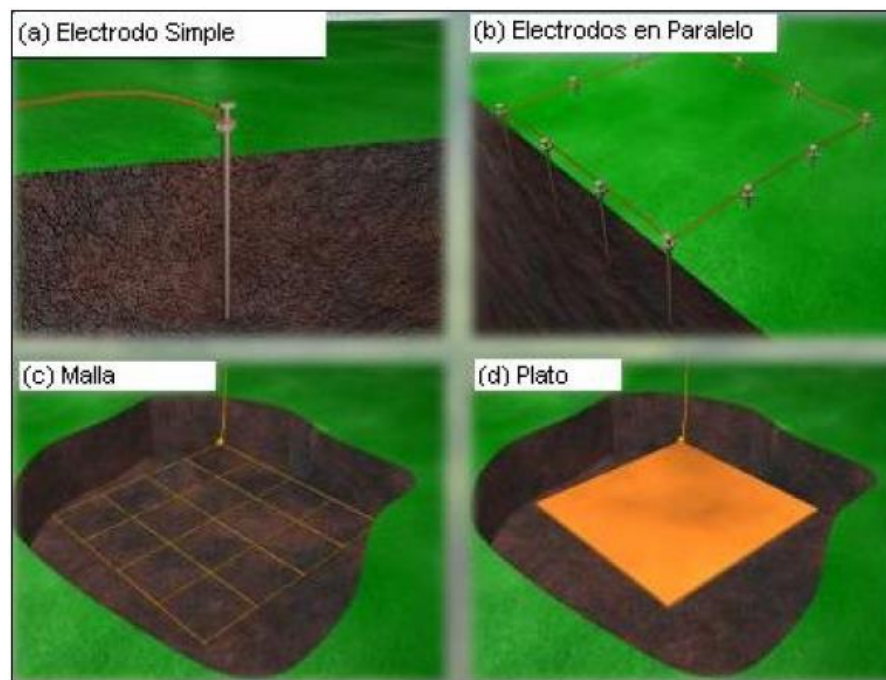
En esta ecuación, se puede observar el comportamiento de la resistencia al ser atravesada por una corriente, de manera que esta va disminuyendo con el cuadrado de la distancia, lo

cual genera que las capas más alejadas del electrodo, tengan un efecto mínimo en la resistencia total. (Agulleiro, 2016)

La base del sistema de puesta a tierra se centra en la configuración de los electrodos enterrados, debido a que esta configuración va a determinar la efectividad de su propósito.

Los arreglos del sistema de puesta a tierra pueden ser simples o complejos, en función de los requerimientos y condiciones de operación buscados, los arreglos de tierras simples consisten en una varilla enterrada, conectada a un conductor de cobre desnudo, el cual se conecta a la barra de tierras en la acometida. Este tipo de configuración es comúnmente encontrado en las residencias.

Por otro lado, los arreglos complejos pueden estar formados por dos o más varillas en paralelo, por una placa sólida completa o bien por una malla de conductores completamente enterrada. Estas configuraciones se muestran en la siguiente figura.



Fuente: (Agulleiro, 2016)

Figura 6. Configuraciones de puesta a tierra

Según la sección 250.53 (H) del Capítulo 2 del NEC, cuando se utilicen electrodos de plato o placa sólida, esta no debe ser enterrada a una profundidad inferior a los 750 mm (30

pulgadas). Para el caso de varillas en paralelo, según la sección 250.56 del mismo capítulo, no deben estar separadas a una distancia inferior a 1,8 metros entre sí. (NEC, 2008)

La selección del calibre del conductor, que conecta la barra de tierras a la configuración de la puesta a tierra, se encuentra establecida por la Tabla 250.66 en el Capítulo 2 del NEC, el cual se encuentra en función del calibre de los conductores de la acometida principal de la empresa.

Tabla 4. Selección del conductor para el sistema de puesta a tierra

Table 250.66 Grounding Electrode Conductor for Alternating-Current Systems

Size of Largest Ungrounded Service-Entrance Conductor or Equivalent Area for Parallel Conductors ^a (AWG/kcmil)		Size of Grounding Electrode Conductor (AWG/kcmil)	
Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum ^b
2 or smaller	1/0 or smaller	8	6
1 or 1/0	2/0 or 3/0	6	4
2/0 or 3/0	4/0 or 250	4	2
Over 3/0 through 350	Over 250 through 500	2	1/0
Over 350 through 600	Over 500 through 900	1/0	3/0
Over 600 through 1100	Over 900 through 1750	2/0	4/0
Over 1100	Over 1750	3/0	250

Fuente: (NEC, 2008)

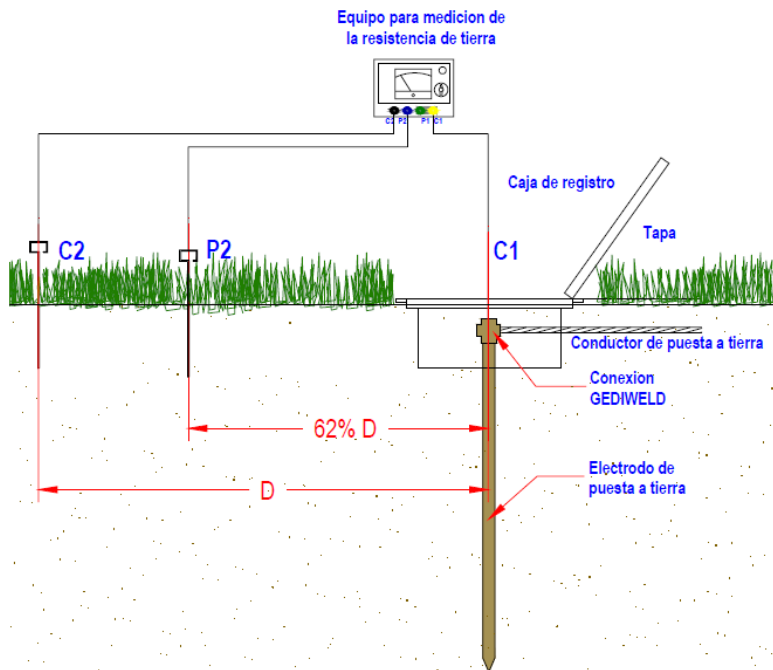
Se han estandarizado valores recomendados de resistencia, los cuales permiten determinar si un terreno puede ser utilizado para colocar alguna configuración del sistema de puesta a tierra, como las mencionadas anteriormente.

Según la IEEE 142-1991 [6], el valor de resistividad de un suelo para la implantación de una puesta a tierra, depende de la estructura que se quiera aterrizar, para grandes subestaciones, líneas de transmisión y estaciones de generación, el valor recomendable es de 1 Ω , para el caso de subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales, la resistencia recomendada se encuentre entre 1 Ω y 5 Ω ; el valor estándar de resistencia para un electrodo de tierra es de 25 Ω . (Agulleiro, 2016)

Existen varios métodos para la medición de resistencia en un terreno.

- Método de caída de potencia: También conocido como el método de los tres puntos y es uno de los más utilizados, al punto que la mayoría de instrumentos de medición, basan sus resultados en este método, como el Megger y el Vibroground.

Este método recibe su nombre debido a que utiliza tres electrodos de prueba o salidas auxiliares, los cuales se conectan a las terminales correspondientes en el equipo de medición de resistencia a tierra, con el fin de verificar si el terreno es apto para la malla de tierras. En el caso de un sistema ya establecido, este método se puede utilizar para determinar los valores actuales y validar su funcionamiento, por lo que una de las puntas se coloca en una de las varillas de cobre perteneciente a la malla actual de tierras, mientras que las otras dos puntas restantes se conectan a una distancia referenciada, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: (Rojas, 2016)

Figura 7. Conexión de terminales del método de los tres puntos

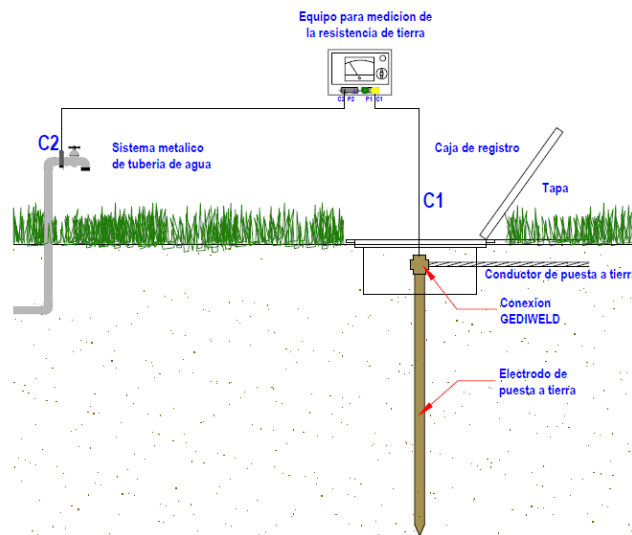
Una vez conectadas correctamente las terminales, el equipo inyecta una corriente a la terminal C1, la cual pasa por la tierra para retornar por la terminal C2, como

la terminal de medición P2 se encuentra entre estos dos puntos, esta toma un dato de voltaje, el cual va a presentar una pérdida respecto al inicial en la salida del equipo, por lo que la resistencia del suelo en ese punto, el instrumento la calcula utilizando la Ley de Ohm, dividiendo el diferencial de voltaje de los puntos C1 y P2, entre la corriente inyectada por el dispositivo durante la prueba.

A este método también se le conoce como el “Método del 62%” debido a que es un porcentaje del valor de la distancia entre P2 y C1, en función de la distancia inicial de C2 respecto a C1. En este punto los valores dan lecturas promedio aceptables, de la resistencia a tierra del electrodo.

Una de las limitantes que presenta este método, es que las puntas deben estar ubicadas lejos de objetos conductores; de lo contrario, los gráficos en el dispositivo de medición no presentarán un tramo paralelo, indicativo de que es necesario corregir la distancia seleccionada.

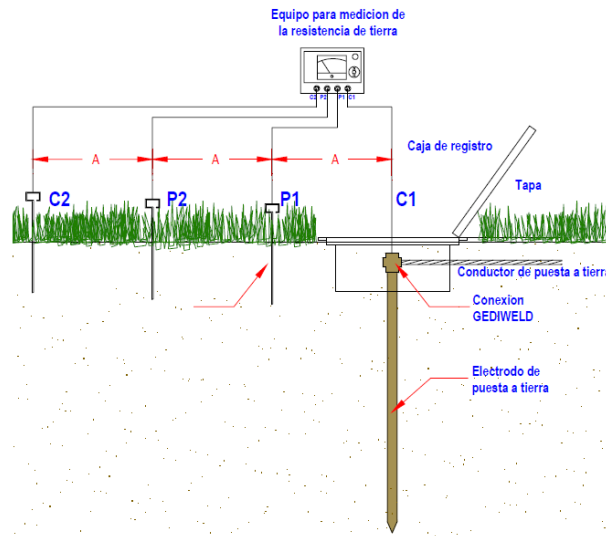
- **Método de dos puntos:** Utilizando el mismo equipo de cuatro salidas, se puentean las terminales P1 y C1, las cuales a su vez se conectan al electrodo bajo tierra perteneciente a la malla de tierras, mientras las terminales P2 y C2 se puentean y se conectan a un sistema de tubos de agua, completamente metálico, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: (Rojas, 2016)

Figura 8. Conexión de terminales del método de los dos puntos

- Método de las cuatro terminales: El principio de funcionamiento es el mismo que el método de caída de potencial, con la excepción de que no se puentean las terminales P1 y C1, sino que cada salida representa un electrodo independiente. Este método, de igual manera, no solamente es utilizado para identificar un terreno aceptable para la ubicación de una malla de tierras, sino que permite comprobar la resistividad en una puesta a tierra ya existente.



Fuente: (Rojas, 2016)

Figura 9. Conexión de terminales del método de los cuatro puntos

3.11. CAÍDA DE VOLTAJE

Un circuito eléctrico sencillo está compuesto por una fuente de voltaje, la carga que alimenta y un medio conductor que unifica estos puntos para cerrar el circuito.

El voltaje medido, en la salida inmediata de la fuente, se conoce como voltaje ideal (V_s), ya que no sufre pérdidas considerables que puedan afectar su valor. Por otro lado, la carga que esta fuente alimenta, dentro de cualquier circuito ramal, se encuentra a una distancia variable, en función del tamaño y de la aplicación del circuito, mientras que el voltaje medido en la entrada de dicha máquina, no va a ser el mismo que el ideal, a este se le llama voltaje de carga (V_c). (Barahona, Caída de Voltaje, 2014)

La diferencia entre el voltaje ideal y el de carga, es debido a una pequeña cantidad de voltaje que se pierde en el trayecto desde la fuente hasta dicha carga. Esta pérdida puede ser

producto de la resistividad del conductor utilizado, de la corriente que fluye por este y por la distancia que separa estos dos elementos.

La caída de voltaje, como valor absoluto, representa la diferencia entre el voltaje ideal y el de carga, producto de las pérdidas en la resistencia del conductor. Se mide en voltios.

$$\Delta V = V_s - V_c$$

Usualmente la caída de voltaje se representa, como un porcentaje de la tensión perdida.

$$\%CV = \frac{V_s - V_c}{V_s} * 100\%$$

Estos valores porcentuales, están regulados por el Código Eléctrico de Costa Rica (NEC), en la sección 210.19 (A) (1) (NLM N° 4) donde se establece que los conductores de deben dimensionar, para evitar una caída de tensión superior al 3%, en las salidas más lejanas de las cargas, así como que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal, hasta la salida más lejana, no puede superar el 5%. Estas condiciones se establecen, con el fin de ofrecer una eficiencia de funcionamiento razonable. (NEC, 2008)

Entre los principales factores que influyen en la caída de tensión de un circuito ramal, se encuentran los siguientes:

- La distancia (L): Representa el tramo del circuito que va desde la fuente hasta la carga, la caída de voltaje es directamente proporcional a la distancia, debido a que al aumentar la distancia entre estos puntos, mayor será la pérdida de tensión del lado de la carga.
- La corriente (I): Representa la cantidad de corriente que fluye entre los dos puntos mencionados anteriormente y su impacto es directo en el resultado, ya que a mayor corriente transportada, mayor será la caída de tensión, en las terminales de entrada de la carga por alimentar.
- El voltaje de suministro: Este parámetro es inversamente proporcional a la caída de tensión, ya que se encuentra relacionado con el potencial entregado por la fuente. Cuando una carga puede ser conectada a dos voltajes distintos, se selecciona el mayor, con el fin de contrarrestar este efecto.

- El área transversal de los conductores: Está relacionado directamente con el calibre del conductor del circuito ramal por estudiar, debido a que la caída de tensión se da, con base en la resistencia del conductor, al aumentar el área de este. Aumentando su calibre se disminuye su resistencia, por lo que disminuye al mismo tiempo sus pérdidas.
- El material del conductor: Los materiales más comúnmente utilizados para la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, de estos dos, el cobre es el que presenta las mejores propiedades físicas para la conducción de energía eléctrica, debido a su baja resistencia respecto a los demás materiales.
(Barahona, Caída de Voltaje, 2014)

Existen varios métodos, que permiten reducir el porcentaje de caída de tensión en un circuito, con el fin de contrarrestar sus efectos negativos en la red, aunque no todos son aplicables dependiendo del contexto operativo y de la configuración del sistema eléctrico.

- Distancia: En etapas de diseño, se debe procurar conectar las cargas a los tableros disponibles más cercanos, los cuales al mismo tiempo, deben ser ubicados en puntos específicos, para un óptimo sistema eléctrico. Para el caso de las cargas ya existentes, se debe evaluar la posibilidad de trasladar dicha carga a otro tablero más cercano. Este procedimiento depende de la disponibilidad del tablero y de sus parámetros eléctricos.
- Voltaje Vs: En el caso de que un equipo posea la disponibilidad de operar a varios voltajes, lo ideal es conectarlo al mayor voltaje disponible. Este criterio queda en función de la disponibilidad de la red, de brindar varios voltajes.
- Corriente del ramal: Para el caso de cargas grupales, se puede evaluar la posibilidad de trasladar algunas de estas a otro tablero, siempre y cuando la caída de tensión de este último, no sobrepase los límites mínimos establecidos.
- Diámetro del conductor: Cuando no es posible desarrollar ninguna de las opciones anteriores, se puede aumentar el calibre de los conductores, la desventaja de este procedimiento es que requiere de una inversión considerable, dependiendo del calibre que se requiera, en los ramales del sistema con alta caída de tensión.
- Material: Esta condición aplica para los casos en los que el conductor es de algún material distinto al cobre, como el caso del aluminio, debido a que el primero

posee una mayor conductividad, lo que representa una resistencia más baja respecto a los otros materiales.

- Conexiones: Las malas conexiones en los circuitos eléctricos, puede generar pérdidas debido a puntos calientes en ellas, por esto, se debe garantizar una buena conexión en los bornes de tableros, empalmes y equipos.

(Barahona, Caída de Voltaje, 2014)

3.12. MANUALES DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

El mantenimiento autónomo es solamente una rama del gran árbol que contempla el mantenimiento industrial como un todo; es parte fundamental del mantenimiento productivo total (TPM), en conjunto con el mantenimiento preventivo, la mejora continua y la capacitación del personal, tanto en equipos como instalaciones. (Solo Mantenimiento, 2016)

Este tipo de mantenimiento forma parte de las etapas previas necesarias, para establecer las condiciones de implementación del TPM. Parte de estas condiciones, incorpora en la metodología la formación del personal, la cual es una de las actividades más importantes, para su correcta aplicación, no limitándose únicamente al personal de planta, sino incluyendo a todo el personal administrativo y el sindicato. (Mantenimiento Planificado, 2016)

La esencia del mantenimiento autónomo aplicado en una planta, es la correcta implementación de los manuales, por parte de los operadores y operarios de mantenimiento, es una de las etapas más complejas y de más cuidado, debido a que implica cambiar la manera como se realizan algunos trabajos habituales, donde los operadores se encargan únicamente de la producción y los técnicos de mantenimiento se encargan de las reparaciones del equipo electromecánico.

Su principal objetivo es contrarrestar o disminuir el deterioro de las máquinas, con el transcurso del tiempo, lo cual significa un aumento en la eficiencia y confiabilidad de los equipos y sus componentes. La falta de tareas de inspección, ajustes, limpieza, remoción de elementos externos (polvo, contaminantes) y lubricación, incrementa las posibilidades

de presentar problemas de corrosión, tiempos muertos por reparación y pérdidas de calidad del producto terminado. (Mantenimiento Planificado, 2016)

Entre las tareas básicas que contemplan los manuales de mantenimiento autónomo se encuentran:

- Limpieza diaria (proceso de inspección).
- Inspección de los puntos clave del equipo (búsqueda de fugas, fuentes de contaminación, exceso o falta de lubricación de elementos móviles).
- Lubricación básica periódica de los puntos clave del equipo.
- Ajustes rutinarios básicos.
- Formación – Capacitación técnica.
- Reporte de fallas complejas (procedimientos que requieran de equipo y personal especializado, así como de una programación para repararse)

(Solo Mantenimiento, 2016)

La implementación de un manual de mantenimiento autónomo en siete pasos, tal y como lo menciona el artículo obtenido de la página de “mantenimientoplanificado.com”, se resume a continuación:

- Limpieza inicial: Más que una acción, es una ideología, la cual debe ser transmitida e inculcada en los operadores de cada máquina, de modo que sean ellos mismos quienes tengan interés en mantener sus estaciones de trabajo limpias y visiblemente presentables. Esto implica cambiar su forma de pensar y hacer su trabajo de manera diferente, lo que genera una resistencia al cambio, al delegar esa responsabilidad al Departamento de Aseo.
- Proponga medidas y señale las causas y efectos de la suciedad: Una vez que se ejecuta una limpieza inicial, el siguiente paso consiste en mantener la estación de trabajo, tal y como se encuentra; esto implica ejecutar labores de limpieza diaria, las veces que el equipo lo requiera para su apropiado funcionamiento,

cuanto más limpia se encuentre el área de trabajo, menos tiempo y esfuerzo se invierte en ejecutar las labores rutinarias.

- Estándares de limpieza y lubricación: Se implementan estándares para un rápido y eficiente trabajo de mantenimiento básico, con el objetivo de contrarrestar el deterioro en los equipos en general. Esto significa que se establecen procedimientos y frecuencias, para labores determinadas de limpieza, así como rutas y puntos de inspección, para cada uno de los equipos.
- Método de las 5S: Este concepto se basa en el mejoramiento continuo del ambiente de trabajo, basado en aspectos de orden, limpieza y disciplina. Este paso debe ser implementado desde los inicios del proceso de adaptación, del manual de mantenimiento autónomo.

Las 5S hacen referencia a cinco principios fundamentales:

- **Seiri - Clasificación u Organización**: Se fundamenta en la separación de los elementos que pueden cumplir una función dentro del espacio de trabajo, respecto de los que no sirven, se implementa usualmente mediante una hoja de verificación, la cual permite clasificar cada elemento, para identificar si puede ser de utilidad o está ocupando un espacio de forma innecesaria.

Entre las ventajas que presenta esta etapa, se encuentra el aumento de espacio libre en el lugar de trabajo, la reducción de elementos innecesarios u obsoletos, se disminuyen los movimientos, se reduce el tiempo de inventarios y se eliminan los despilfarros.

- **Seiton – Orden**: Definir un espacio conveniente para cada uno de los elementos que han sido considerados como necesarios dentro del espacio de trabajo, así como utilizar señalización visual para designar los espacios de estos. En dicha etapa se utilizan herramientas como códigos de colores, señalización y hojas de verificación.
- **Seiso – Limpieza**: Se basa en incorporar labores de limpieza, a las operaciones diarias de trabajo, estableciendo estas funciones como actividades de protocolo, antes, durante y después de utilizar la

máquina, según sean sus requerimientos. En esta etapa se busca, unificar las labores de operación con las de limpieza.

Entre las ventajas de esta etapa se encuentra aumentar la motivación y mejorar el ambiente de trabajo y además, que las labores de limpieza permiten al operador conocer más el equipo que utiliza. Desde el punto de vista del equipo, se aumenta su confiabilidad, lo cual se ve reflejado en la calidad del producto, así como en el incremento de la vida útil de sus componentes.

- Seiketsu – Estandarización: Una vez alcanzado este punto de organización, orden y limpieza, el siguiente paso consiste en mantener este estado de forma indefinida, mediante la implementación de los manuales, procedimientos y planes de trabajo diseñados, con el fin de establecer un procedimiento único, en el momento de llevar a cabo alguna operación.
- Shitsuke – Disciplina: La disciplina está directamente relacionada con la cultura organizacional de la empresa, si bien es cierto que esta no puede cambiar de la noche a la mañana, es necesario unificar todos los protocolos de mantenimiento, en un solo manual, el cual incluya algunos procedimientos y conceptos básicos, que puedan ser entendidos por cualquier persona que los quiera interpretar.

(Ingeniería Industrial Online, 2016)

El método de las 5S es un procedimiento aparte de los planes de mantenimiento autónomo, donde se deben estandarizar los procedimientos para ejecutar diversas labores de limpieza e inspección.

Se puede decir que estos tres pasos iniciales están enfocados en la identificación de requisitos, previos implementación de los planes de mantenimiento autónomo, propiamente dicha.

- Inspección general: Este paso se encuentra enfocado en el siguiente nivel de los planes de mantenimiento, ya que permite la identificación de modos de fallas, mediante la inspección completa del equipo o maquinaria, la cual se tiene a cargo. Este paso tiene como requisito, que el personal implicado en la ejecución

de dichos planes, maneje conceptos básicos relacionados con el funcionamiento de las máquinas, de manera que puedan identificar alguna anomalía en el funcionamiento de estas. Este es uno de los pasos que demanda más tiempo, pero al mismo tiempo, uno de los más importantes para el desarrollo.

- Inspección autónoma: Se comienzan a estructurar las bases de estandarización implementadas en los pasos anteriores, donde se complementan y comparan las propuestas actuales de limpieza, inspección y lubricación, con la metodología anterior, de manera que se pueda realizar un comparativo, logrando adaptar la vieja ideología a los nuevos planes de mantenimiento buscados.

Una vez que este paso de inspección se encuentra dominado por los mismos operarios, el Departamento de Mantenimiento puede comenzar con la programación de mejoramiento de equipos, planes de mantenimiento rutinario, ya sea por grupos o por calendarios. También se comienza con la planificación de mantenimiento preventivo anual y estándares de mantenimiento, los cuales consideren las listas de verificación, con sus respectivos procedimientos del ciclo de verificación.

- Organización y ordenamiento: Se basa en la implementación del método de las 5S mencionado anteriormente, para comenzar con la asignación de tareas y clarificar las responsabilidades de cada persona, con el objetivo de lograr un TPM óptimo, el cual puede durar en implementarse, entre tres y cinco años.
- Término de la implantación del mantenimiento autónomo: Este último paso se basa, en la evaluación de los resultados obtenidos mediante la implementación de los pasos anteriores, los cuales se enfocan en la formación de los operarios como especialistas en su equipo, aumentando la moral y la confianza en sus acciones, lo que se verá reflejado en el mejoramiento del proceso, del equipo y de la calidad del producto final.

(Mantenimiento Planificado, 2016)

CAPÍTULO IV – DESARROLLO

4.1. METODOLOGÍA

El levantamiento del sistema eléctrico se desarrolló a partir de un recorrido inicial por toda la empresa, reconociendo la ubicación de los tableros y cargas principales, la subestación y las generalidades de la red eléctrica.

Se comenzó recolectando la información de los Tableros C, D, E, F y G, los cuales alimentan las principales secciones de la corrugadora, se tomaron datos de las cargas como disyuntores, calibres de conductores, ubicación y características de los tableros, se midieron datos de corriente en la entrada de algunos equipos, con el fin de comparar la demanda de corriente eléctrica, obtenida de los manuales de algunos equipos en comparación con los datos de consumo reales de la máquina, medidos bajo el contexto de operación actual. Además se obtuvieron algunos datos de placa de los equipos, en cada uno de los tableros y se comenzó con la tabulación de la información compilada.

Luego se realizó el mismo procedimiento en los Tableros A, B y H, en el caso particular del Tablero A, se identifica un transformador trifásico 220/440v de 150KVA, el cual alimenta todas las cargas de iluminación y tomacorrientes de oficinas, soda y áreas comunes, además alimenta algunas máquinas de menor tamaño como engomadoras, compactadoras y *conveyors* (bandas transportadoras).

Una vez que se completó la información requerida con el formato establecido para cada tablero, se comenzaron a aplicar los factores de corrección pertinentes a las distintas cargas y tableros de toda la red eléctrica, así como criterios de diseño para la obtención de los valores de corriente y potencia, más cercanos a la demanda real de los tableros.

Se tomaron en consideración factores de simultaneidad, aplicados en tableros donde algunas de las máquinas son completamente excluyentes, por lo que para efectos de cálculo de los alimentadores y del disyuntor principal de cada tablero, se omitió la carga más pequeña de ambas, considerando la más alta en conjunto con las demás cargas.

Se aplicaron factores de demanda para las distintas cargas, tal y como las que se especifican en la sección 220.44 del Capítulo 2 del NEC (NEC, 2008), la cual hace referencia a la Tabla 220.44; esta tabla indica los factores de demanda para receptáculos distintos a los de una vivienda, especifica que los primeros 10 KVA se dimensionan con un factor de demanda del 100%, mientras que los KVA restantes se dimensionan con un factor de demanda de 50%.

Tabla 5. Factores de demanda para receptáculos en unidades diferentes de vivienda.

Parte de la carga de tomacorriente a que se le aplica el factor de demanda (en Voltampere)	Factor de demanda %
Primeros 10 KVA o menos	100
A partir de 10 KVA	50

Fuente: (NEC, 2008)

Las salidas de tomacorrientes dobles a 110v, para efectos de cálculo se dimensionan a 180VA, con un máximo de seis salidas dependiendo de la ubicación, protegidos por un disyuntor de 20 amperes de un polo tipo CH, según como lo indica la sección 220.14 (I) del Capítulo 2 del NEC.

Por otro lado, los tomacorrientes a 220v se dimensionan para un consumo de 45,5A, ya que son utilizados en su mayoría, por la máquina de soldar, motivo por el cual, se adopta como criterio de diseño, utilizar solamente dos, de los nueve tomacorrientes 220v de manera simultánea, para la selección de disyuntores principales de tableros y alimentadores; para el caso en que dos tableros conectados en cascada posean, cada uno un tomacorriente a 220v, para efecto de cálculo del alimentador y disyuntor principal del primer tablero de ese circuito ramal, se considera solamente uno trabajando de manera simultánea.

Para el caso de las luminarias, la sección 220.14 (D) del Capítulo 2 indica que las luminarias se deben dimensionar para la totalidad de sus KVA; para el presente proyecto, las luminarias de doble fluorescente a 110v se dimensionan con una capacidad de 150VA por salida, con un máximo de seis salidas, protegidas por un disyuntor de 20 amperes de un polo, mientras que las luminarias a 220v se dimensionan para una capacidad de 250VA por salida, para un máximo de seis salidas, protegidas por un disyuntor de 30 amperes de dos polos.

Se aplicaron factores de carga para ciertos tableros, debido a que algunas de las máquinas conectadas no operan a plena carga, ni de forma simultánea. Este factor se encuentra respaldado por la diferencia existente entre las corrientes reportadas en los manuales de algunos equipos, en comparación con los datos de corriente medidos en las terminales de las máquinas, de manera que se ajustaran los datos en función de este factor, para obtener valores cercanos a los medidos en cada tablero.

El formato descriptivo de los tableros también incluye un factor de utilización del disyuntor, el cual representa el valor de corriente que consumen las cargas del tablero, respecto al disyuntor principal que lo protege. Dicho factor permite determinar, si este disyuntor se encuentra sobrecargado, o bien, si es posible incorporar más cargas en el tablero, en función de la cantidad de carga y de los espacios disponibles en el tablero.

Todos estos factores se establecieron en conjunto con el departamento de mantenimiento, para determinar tiempos de operación, de simultaneidad, y de utilización para cada una de las cargas y tableros de la red eléctrica de la planta.

Cabe destacar, que los factores mencionados anteriormente se aplicaron para el cálculo de la caída de voltaje y los factores de utilización del disyuntor, por lo tanto, los disyuntores y calibres de conductores de cada equipo carga y tablero, se dimensionan con base en la corriente en plena carga, al igual que los disyuntores principales y los alimentadores de cada tablero, bajo los criterios que establece el NEC.

El nuevo diagrama unifilar se desarrolló, conforme al levantamiento eléctrico realizado y el diagrama unifilar presentado al inicio del presente proyecto, al cual se le incorpora una serie de detalles, necesarios para su mejor interpretación y utilidad, ya que se le introducen datos fundamentales para realizar un estudio de cortocircuito y de coordinación de protecciones, los cuales no pudieron ejecutarse, por motivos de tiempo,

Los perfiles de carga presentados se establecieron, con base en datos tomados del medidor principal en la acometida de la planta, así como los valores de demanda presentados en la facturación de los recibos eléctricos presentados por la ESPH (Empresa de Servicios Públicos de Heredia).

Para el estudio del sistema de puesta a tierra, se coordinó la visita de los representantes de tres empresas distintas que brindaban este servicio, se recibió la cotización y se envió la solicitud de compra al departamento correspondiente para que se realizara el trámite.

Una vez aprobada la orden de compra por el estudio de tierras, se coordina con el Departamento de Producción para no intervenir con el proceso productivo, en caso de que fuera necesario trabajar el fin de semana.

Se coordina con la empresa MM and Industries para desarrollar el estudio de tierras, procedimiento que se explicará ampliamente en las secciones posteriores.

Los planes de mantenimiento autónomo se realizaron con base en los manuales de cada una de las máquinas y de los procedimientos de mantenimiento básico, ya establecidos por este departamento, por lo que se integran en un formato preestablecido por el grupo Smurfit Kappa, además de las fotografías necesarias de los puntos de interés, en cada una de las máquinas involucradas en este procedimiento.

4.2. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO

La información recolectada referente a todos los tableros, desde el principal hasta el más lejano, se estructura en el formato establecido en conjunto con el profesor guía, el cual incorpora información de las cargas, los circuitos, además de los tableros y permite tener una idea clara de las condiciones de operación aproximadas, de cada carga.

Como parte del levantamiento eléctrico se estableció, en conjunto con el Departamento de Mantenimiento, un método de identificación de tableros y cargas, con el objetivo de facilitar su identificación y ubicación. Esta designación consiste en un método en cascada, en el cual se designa una letra mayúscula de la “A” a la “H”, a cada uno de los ocho paneles principales, a partir de cada panel principal, a las cargas se les va a asignar un número consecutivo, en función del número de campos que tenga el tablero.

Por ejemplo, las cargas conectadas en el Tablero F (Tabla 25. Tabla descriptiva del Tablero F, Anexos), van a estar asignadas con la referencia TF-1, TF-2, TF-3, hasta el número máximo de campos disponibles en dicho tablero. Si uno de los disyuntores en ese tablero alimenta a otro tablero o sub-tablero, como es el caso de TF-3, las cargas de este último

estarían referenciadas como TF-3-1, TF-3-2, TF-3-3 y así sucesivamente. Por último, si una de estas cargas anteriores alimenta otro sub-tablero, como es el caso de la referencia TF-3-15 (actualmente este tablero se encuentra en paralelo con el anterior, pero esta modificación se planteó en la sección de recomendaciones del presente informe), las cargas conectadas a este último estarían referenciadas de la siguiente forma: TF-3-15-1. TF-3-15-2. TF-3-15-3 y así sucesivamente.

Para el caso del Tablero TA-9-3, el cual tiene conectadas todas las cargas de tomacorrientes e iluminación, entre otras máquinas pequeñas, se le asignó una referencia especial para cada una de sus cargas; dado que estas también son tableros, la referencia que se asignó a cada uno de ellos está relacionada directamente con el nombre de la carga que alimenta y con la configuración del tablero.

Por ejemplo, si el Tablero Fotopolímeros Monofásico tiene la referencia TA-9-3-TFM (Tabla 26. Tabla descriptiva del Tablero Fotopolímeros Monofásico, Anexos), las cargas conectadas a este tablero llevan como referencia únicamente TFM-1, TFM-2, TFM-3 y así sucesivamente, con los demás tableros que pertenecen a este anterior, si este último tablero tuviera conectado entre sus cargas a otro, como es el caso de la referencia TFM-7, que alimenta al Tablero Oficinas Despacho, cuyas referencias serían TFM-7-1, TFM-7-2, TFM-7-3 y así para todas las cargas de este tablero.

Como parte del levantamiento eléctrico, se enlistan las máquinas y cargas conectadas a la red, las cuales integran la planta.

El centro del proceso productivo se enfoca en la máquina principal llamada corrugadora, cuyo funcionamiento fue descrito en las secciones anteriores, pero este complejo sistema de producción se encuentra, a su vez, compuesto por una serie de máquinas más pequeñas, las cuales cumplen con funciones específicas, que al integrarse dan como resultado un cartón corrugado de calidad.

El proceso productivo de la corrugadora se subdivide en tres partes, la sección propia de corrugado, la de secado y la de corte y apilado.

La sección de corrugado se conforma por:

- 5 Empalmadores con sus respectivos portabobinas.
 - 2 Motores de ½ HP para el carro de transporte.
 - 1 Motor de 5 HP – Sistema Hidráulico
 - 2 Motores de 2 HP – Portabobinas
- 2 Aplicadores de parafina.
 - 2 Motores de 2 HP para el cilindro principal de cada máquina
- 2 Corrugadores, uno tipo B y el otro tipo C.
 - 2 Motores de 100 HP – Flautas
 - 2 Motores de 8 HP - Sopladores
- 2 Precalentadores.
 - 2 Motores de 2 HP
- 1 Triple calentador.
 - 3 Motores de 2 HP.
- 1 Doble engomador.
 - 2 Motores de 10 HP.
- 1 Cocina de goma
 - 1 Motor de 40 HP – Mezclador
 - 1 Motores de 5 HP – Dosificador
 - 1 Motor de 40 HP – Succionador AGNATI
 - 2 Motores de ½ HP - Agitadores

La sección de secado se conforma por:

- 1 Mesa de Planchas
 - 1 Motor de 300 HP DC.
 - 1 Motor de 1 HP - Abanico

La sección de corte se conforma por:

- 1 Cortadora Master
 - Carga Instalada de 200 kW
- 1 Cortadora Twin 400
 - Carga Instalada de 67 kW
- 1 Cortadora Rotary
 - Carga Instalada de 24 kW
- 2 *Stackers* Terminal
 - Carga Instalada de 140 kW

Las otras dos grandes áreas de la planta de COCORISA, se conocen como la sección de impresión y la sección de acabado, entre las áreas restantes se encuentran la sección de oficinas, los talleres (Mantenimiento General y Troqueles) y despacho.

La sección de impresión se conforma por:

- 1 Impresora Ward
 - 1 Motor de 75 HP
- 1 Impresora Saturno
 - 1 Motor de 75 HP
 - 1 Motor de 10 HP
 - 2 Motor de 5 HP
 - 6 Motores de ½ HP
- 1 Impresora Hycorr
 - 1 Motor de 75 HP
 - 3 Motores 5 HP
 - 1 Motor de 7,5 HP
 - 4 Motores de 3 HP

- 1 Motor de $\frac{3}{4}$ HP
- 1 Impresora Titán (Se encuentra fuera de operación)

- 1 Impresora Seco
 - Alimentador
 - 1 Motor 60 HP CD
 - 1 Motor de $\frac{1}{4}$ HP
 - 1 Motor de 2 HP
 - 1 Motor de 40 HP – Succionador
 - Impresión
 - 3 Motores de $\frac{1}{2}$ HP
 - 1 Motor de $\frac{1}{4}$ HP
 - Troquelado
 - 2 Motores de 2 HP
 - 1 Motor de $\frac{1}{4}$ HP
 - Corte final
 - 5 Motores de $\frac{1}{2}$ HP

Cada impresora con su respectivo succionador y complementos.

La sección de acabado se conforma por:

- 2 Engomadoras EMBA
 - 2 Motores de 10 HP.
- 1 Engomadoras MIRUNA
 - 1 Motor de 3 HP
- 2 Cortadoras EMBA
 - 2 Motores de 3 HP
- 2 Amarradoras MOSCA
- 1 Cinta transportadora principal
- 1 Paletizadora
 - 1 Motor de 1,5 HP

- 2 Motores de ½ HP

El cuarto de calderas se encuentra conformado por:

- Baviera (Sistema de Retorno de Condensado)
 - 1 Motor de 10 HP
- Bombas de agua de la caldera
 - 2 Motores de 3 HP
- Abanico caldera #1
 - 1 Motor de 20 HP
- Abanico caldera #2
 - 1 Motor de 15 HP
- Bombas de *bunker* diario
 - 4 Motores de ¾ HP
- Bombas de *bunker* mensual
 - 2 Motores de 5 HP

En general, la empresa cuenta con un transformador principal seco de 1200 KVA, el cual baja la tensión proveniente del cuarto de medición de 34,5 KV a 440/254 V, configuración $\Delta - \Delta$.

Los demás transformadores poseen capacidades de 5 KVA, monofásico bifilar, (iluminación y tomacorrientes del cuarto de compresores), 75 KVA, trifásico, configuración $\Delta - Y$, (tablero de pruebas máquinas Boix, tableros de iluminación y tomacorrientes), 150 KVA, trifásico, configuración $\Delta - \Delta$ (iluminación general, oficinas, soda y algunas máquinas pequeñas), todos con una relación de transformación de 480/220 V.

La empresa cuenta además con máquinas de mecanizado en el taller de mantenimiento, incluyendo un torno, un taladro vertical, una esmeriladora y dos máquinas de soldar.

Toda esta información permitió el diseño de tablas descriptivas, para cada uno de los tableros, como parte del control visual, que a su vez facilite la identificación de cargas. Estas

tablas se adhieren a los tableros, de manera que cualquier persona autorizada que abra la cubierta, pueda acceder a la información de cada circuito ramal, como la ubicación, la referencia y la carga que alimenta cada disyuntor. Un ejemplo de estas tablas se muestra en la sección de anexos en la Tabla 19. Tabla descriptiva del Tablero B (Cuarto de Calderas) y en la Tabla 20. Tabla descriptiva del Tablero A-1 (Triturado).

Parte de la información recopilada durante el levantamiento eléctrico de la planta, permitió identificar valores altos en los porcentajes de armónicos en la red, en especial en el 5° y en el 7° armónico, por lo que se plantea la recomendación de realizar el estudio de calidad de energía, para identificar la causa y las condiciones de operación reales del sistema. Al mismo tiempo se identifica la necesidad de realizar una redistribución de potencias reactivas en el banco de capacitores, con el fin de dar mejor aprovechamiento a las etapas.

Actualmente, la empresa cuenta con seis etapas, de las cuales, una está quemada y la otra ya cumplió su vida útil, por lo que es importante realizar el estudio de calidad de energía, para determinar la potencia reactiva requerida, a fin de distribuir bien esta potencia en el banco, para luego implementar un banco de armónicos general, que permita minimizar los valores presentes en la red. Esta recomendación se estableció, en conjunto con un representante de la empresa EATON, como parte de una visita rutinaria a la planta, por lo que debe ser tomada en consideración y darle el seguimiento correspondiente. Los valores de armónicos identificados se muestran en la Figura 29. Porcentaje de armónicos identificados en las líneas sección de anexos.

4.3. MUESTRA DE CÁLCULO

En la siguiente muestra de cálculo, se presentan los procedimientos, conceptos, criterios y operaciones matemáticas, para comprobar el calibre de los conductores de las cargas y su respectivo disyuntor de protección, con base en las condiciones establecidas por el NEC, a partir de las cuales se plantean las recomendaciones, en la siguiente sección.

También se muestran los cálculos de la caída de voltaje de las cargas, así como las del alimentador de estas.

Como referencia de cálculo para las cargas a 440 V, se va a utilizar el Tablero E, el cual alimenta la Cocina de Goma de la corrugadora, el cuadro descriptivo del Tablero E se muestra en la Tabla 21. Tabla descriptiva del Tablero E (Cocina de goma) en la sección de Anexos.

En la siguiente tabla resumen se muestran las cargas que conforman la cocina de goma.

Tabla 6. Datos de placa de las cargas de la Cocina de Goma.

Carga	Potencia (HP)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Mezclador	40	440	52,0
Agitadores (x2)	½	440	1,1
Succionador	40	440	52,0
Dosificador	5	440	7,6

Fuente: Propia

Las corrientes en plena carga, de los motores anteriores, se determinaron mediante la Tabla 430.250 (Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna Anexos) del Capítulo 4 del NEC, la cual establece las corrientes en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna de tipo jaula de ardilla.

➤ **Mezclador (Motor de 40 HP)**

- Dispositivo de protección contra cortocircuito: Se utiliza el criterio de la Tabla 430.52 (Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, donde se establecen los porcentajes aplicables a la corriente nominal para un tipo de motor específico, en función del tipo de protección requerida, para el desarrollo del presente proyecto, se utilizan motores de tipo jaula de ardilla y se selecciona el interruptor automático de tiempo inverso, bajo esta configuración, la tabla anterior indica que se debe aplicar un factor del 250%, a la corriente nominal del motor. Para este motor de 40 HP, el cual tiene una corriente en plena carga de 52,0 A obtenida en la sección anterior, se aplica el factor de 250%.

$$I_{disyuntor} = I_{nominal} * 250\% = 52,0 A * 2,5$$

$$I_{disyuntor} = 130 A$$

Una vez calculado el valor de la corriente que debe soportar el disyuntor, se puede seleccionar un valor de ampacidad de este, es importante tener en consideración, no solamente en este caso específico sino para la sustitución de cualquier disyuntor general, el modelo de disyuntor por sustituir, tanto por las curvas de disparo, como por el tipo de conexión en el tablero, al que pertenece la carga.

Los valores de ampacidad estandarizados para un disyuntor, se muestra en la sección 240.6 (A) del Capítulo 2 del NEC, los cuales van desde los 15 A hasta los 6000 A y su disponibilidad se encuentra en función del modelo del disyuntor. Esto se debe a que, al requerir una ampacidad alta, se va a necesitar de igual manera, un modelo de disyuntor robusto, que pueda soportar la carga sin comprometer su integridad.

Para el caso de este motor, se debe seleccionar un disyuntor de 150 A, de 3 polos (trifásico), modelo FXD6-A, el cual forma parte de las recomendaciones propuestas, debido a que el disyuntor instalado actualmente es de 250 A, lo que representa un sobredimensionamiento de más de un 450%, el cual puede inducir un daño en el equipo, en caso de una sobrecarga, al provocar que el disyuntor no se dispare, en el momento indicado.

- Calibre del conductor: Una vez que se conoce la corriente en plena carga del motor, se utiliza el criterio establecido por la sección 430.22 (A) del Capítulo 4 del NEC, mencionado anteriormente, por lo cual, la corriente sería:

$$I_{conductor} = I_{nominal} * 125\% = 52,0 A * 1,25$$

$$I_{conductor} = 65 A$$

El siguiente paso es consultar la Tabla 310.16 (Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas, Anexos) del Código Eléctrico Nacional (NEC, 2008), la cual establece los valores de ampacidad de los distintos calibres de conductores a distintas temperaturas. En este caso, al ser la corriente calculada, menor que los 100 A, se puede utilizar la columna de 60°C para la selección del calibre de la línea de alimentación, por lo que se debe seleccionar un calibre #4 (3 hilos), pero en lugar de seleccionar el modelo

TW, se selecciona en el mismo calibre, el modelo THHN, para incrementar la capacidad del conductor ante aumentos de temperatura.

Para el caso del conductor de la línea neutro, su selección se establece en función de un criterio de diseño básico, el cual dimensiona el calibre del conductor neutro, como dos calibres más arriba del conductor de las líneas vivas, según la Tabla 310.16 del Capítulo 3 del NEC; por lo tanto, el calibre del neutro seleccionado sería #8 (1 hilo), modelo THHN para mayor confiabilidad.

Una vez seleccionada la capacidad del disyuntor contra cortocircuito, se puede seleccionar el calibre del conductor de tierra para esta carga, según la Tabla 250.122 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) del Capítulo 2 del NEC, donde se establece el calibre mínimo del conductor de tierra en función de la capacidad interruptora de la protección, para un disyuntor de 150 A, se requiere de un calibre de conductor de tierra #6 (1 hilo) modelo THHN.

- Dispositivo de sobrecarga: Se utiliza el criterio de la sección 430.32 (A) (1) en el cual se establecen los factores aplicables a la corriente de placa del motor, para el cálculo de la corriente de disparo de esta protección.

Para este motor, los datos de placa indican un factor de servicio de 1.15 y una corriente de placa de 47 amperios, placa que se muestra en la Figura 18. Placa del Mezclador (Cocina de Goma) en Anexos, por lo tanto se le debe aplicar un factor de 125%.

$$I_{sobrecarga} = I_{placa} * 125\% = 47,0 A * 1,25$$

$$I_{sobrecarga} = 58,75 A$$

Consultando la sección 240.6 (A) del Capítulo 2 del NEC, se selecciona una capacidad de corriente de disparo de 60 A para el dispositivo de protección contra sobrecarga.

- Caída de voltaje: Para el cálculo de la caída de voltaje, se utilizan los datos de los conductores actualmente instalados y bajo las condiciones de operación normal de las máquinas.

La fórmula utilizada para el cálculo de las caídas de voltaje son las siguientes:

Para las cargas monofásicas:

$$CV_{2\phi} = \frac{2 * R * L * I}{1000 * V}$$

Para las cargas trifásicas:

$$CV_{3\phi} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V}$$

Donde:

CV = Caída de voltaje de una carga o tablero. (%)

L = Distancia desde el tablero hasta la carga o entre tableros. (m)

I = Corriente que fluye por las líneas vivas hacia la carga. (A)

V = Voltaje asociado a la carga o tablero. (V)

Ze = Impedancia eficaz del conductor, cargas trifásicas (Ω/Km)

R = Resistencia del conductor, cargas monofásicas (Ω/Km)

Para esta carga, la caída de voltaje corresponde a la fórmula trifásica, por lo que al sustituir los datos correspondientes, se obtiene:

$$CV_{Mezclador} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V} = \frac{\sqrt{3} * 3,24 \Omega/\text{Km} * 19 \text{ m} * 52 \text{ A}}{1000 * 440 \text{ V}} * 100\%$$
$$CV_{Mezclador} = 1,26\%$$

➤ **Agitador (Motor de ½ HP)**

- Dispositivo de protección contra cortocircuito: Se utiliza el criterio de la Tabla 430.52 (Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, para un motor de tipo jaula de ardilla con un interruptor automático de tiempo inverso, la tabla anterior indica que se debe aplicar un factor de un 250% a la corriente nominal del motor.

Para este motor de ½ HP, el cual tiene una corriente en plena carga de 1,1 A obtenida en la sección anterior, se aplica el factor de 250%.

$$I_{disyuntor} = I_{nominal} * 250\% = 1,1 \text{ A} * 2,5$$

$$I_{disyuntor} = 2,75 A$$

Para el caso de este motor, se debe seleccionar un disyuntor de 15 A, de 3 polos (trifásico), modelo ED4, el cual forma parte de las recomendaciones propuestas, debido a que el disyuntor instalado actualmente es de 125 A, lo que representa un sobredimensionamiento de más de un 500%.

- Calibre del conductor: La corriente en plena carga del motor, utilizando el criterio establecido por la sección 430.22 (A) del Capítulo 4 del NEC (Anexo A), mencionado anteriormente, se calcula:

$$I_{conductor} = I_{nominal} * 125\% = 1,1 A * 1,25$$

$$I_{conductor} = 1,375 A$$

De la Tabla 310.16 (Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas, Anexos) se utiliza la columna de 60°C para la selección del calibre de la línea de alimentación, por lo que se debe seleccionar un calibre #14 (3 hilos), de igual manera, se selecciona el mismo calibre calculado, pero modelo THHN, para aumentar la capacidad del conductor ante aumentos de temperatura.

Para el caso del conductor de la línea neutro, se seleccionan dos calibres más respecto al calibre de las líneas vivas, pero al ser estas últimas de un calibre muy alto, el conductor del neutro se selecciona igualmente con un calibre #14 (1 hilo), modelo THHN para mayor confiabilidad.

Para la selección del calibre de tierra, se utiliza la Tabla 250.122 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) del Capítulo 2 del NEC, para un disyuntor de 15 A, se debe utilizar un calibre #14 modelo THHN para el conductor a tierra.

- Dispositivo de sobrecarga: Se utiliza el criterio de la sección 430.32 (A) (1) para el cálculo de la corriente de disparo de esta protección.

En este caso, los datos de placa indican un factor de servicio de 1.15 y una corriente de placa de 0,84 A, placa que se muestra en la Figura 19. Placa del

Agitador (Cocina de Goma), en la sección de Anexos, por lo tanto, se le debe aplicar un factor de 125%.

$$I_{sobrecarga} = I_{placa} * 125\% = 0,84 A * 1,25$$

$$I_{sobrecarga} = 1,05 A$$

Consultando la sección 240.6 (A) del Capítulo 2 del NEC, se selecciona una capacidad de corriente de disparo de 15 A para el dispositivo de protección contra sobrecarga.

- Caída de voltaje: Al ser esta una carga trifásica, se utiliza la misma fórmula del motor anterior:

$$CV_{Agitador} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V} = \frac{\sqrt{3} * 1,41 \Omega/Km * 30 m * 2,1 A}{1000 * 440 V} * 100\%$$

$$CV_{Agitador} = 0,03\%$$

➤ **Succionador (Motor de 40 HP)**

- Dispositivo de protección contra cortocircuito: Se utiliza el criterio de la Tabla 430.52 (Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, para un motor de tipo jaula de ardilla con un interruptor automático de tiempo inverso, la tabla anterior indica que se debe aplicar un factor de un 250% a la corriente nominal del motor.

Para este motor de 40 HP, la corriente en plena carga es de 52 A, según la Tabla 430.250 (Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, a la cual se aplica el factor de 250%.

$$I_{disyuntor} = I_{nominal} * 250\% = 52 A * 2,5$$

$$I_{disyuntor} = 130 A$$

Para este motor, se debe seleccionar un disyuntor de 150 A, de tres polos (trifásico), modelo ED4, el cual forma parte de las recomendaciones propuestas, debido a que el disyuntor instalado actualmente es de 70 A.

Esta situación representa una capacidad de cortocircuito inferior a la recomendable, lo que se refleja en disparos del disyuntor, prematuros y continuos, ante picos de corriente intermitente, o transitorios, en la red

eléctrica de la planta; por otro lado, una corriente de cortocircuito muy alta, puede generar daños en el disyuntor instalado, aumentando la probabilidad de fallas eléctricas.

- Calibre del conductor: La corriente en plena carga del motor, utilizando el criterio establecido por la sección 430.22 (A) del Capítulo 4 del NEC, mencionado anteriormente, se calcula:

$$I_{conductor} = I_{nominal} * 125\% = 52 A * 1,25$$

$$I_{conductor} = 65 A$$

De la Tabla 310.16 (Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas, Anexos), se puede utilizar la columna de 60°C debido a que la corriente calculada se encuentra por debajo de los 100 A, para la selección del calibre de la línea de alimentación, se debe seleccionar un calibre #4 (tres hilos) modelo THHN para compensar los aumentos de temperatura a los que se pueda someter el conductor.

La línea “neutro”: se seleccionan dos calibres más en relación con el de las líneas vivas, por lo tanto, el conductor del neutro se selecciona con un calibre #8 (un hilo), modelo THHN para mayor confiabilidad.

Por último, para la selección del calibre del conductor a tierra, se utiliza la Tabla 250.122 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) del Capítulo 2 del NEC, la cual establece que para un disyuntor de 150 A, se debe utilizar un calibre #6 modelo THHN para el conductor a tierra.

- Dispositivo de sobrecarga: Se aplica el criterio de la sección 430.32 (A) (1) para el cálculo de la corriente de disparo de esta protección.

En este caso, los datos de placa indican un factor de servicio de 1.15 y una corriente de placa de 0,84 A, placa que se muestra en la Figura 20. Placa del Succionador AGNATI (Cocina de Goma) en la sección de Anexos, la corriente de sobrecarga calculada es:

$$I_{sobrecarga} = I_{placa} * 125\% = 46,5 A * 1,25$$

$$I_{sobrecarga} = 58,125 A$$

Consultando la sección 240.6 (A) del Capítulo 2 del NEC, se selecciona una capacidad de corriente de disparo de 60 A, para el dispositivo de protección contra sobrecarga.

- Caída de voltaje: Se utiliza la fórmula trifásica, con los valores eléctricos con los cuales opera este motor.

$$CV_{Succionador} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V} = \frac{\sqrt{3} * 1,41 \Omega/Km * 13 m * 52 A}{1000 * 440 V} * 100\%$$

$$CV_{Succionador} = 0,38\%$$

➤ **Dosificador (Motor de 5 HP)**

- Dispositivo de protección contra cortocircuito: Se utiliza el criterio de la Tabla 430.52 (Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, para un motor de tipo jaula de ardilla con un interruptor automático de tiempo inverso, con base en esta tabla, se debe aplicar un factor del 250%, a la corriente nominal del motor.

El factor anterior aplicable a la corriente, en plena carga del motor, establecida por la Tabla 430.250 (Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna, Anexos) del Capítulo 4 del NEC, da como resultado:

$$I_{disyuntor} = I_{nominal} * 250\% = 5 A * 2,5$$

$$I_{disyuntor} = 12,5 A$$

Para un motor de cinco HP, bajo estas condiciones de operación, se debe seleccionar un disyuntor de 15 A, de tres polos (trifásico), modelo ED4, el cual forma parte de las recomendaciones propuestas, debido a que el disyuntor instalado actualmente es de 50 A.

Se presenta un claro sobredimensionamiento del dispositivo de protección contra cortocircuito, el cual puede generar daños al equipo que protege, si no se dispara en el momento de presentarse una sobrecorriente en las líneas de la red eléctrica de la empresa.

- Calibre del conductor: Se aplica un factor de 125% de servicio continuo a la corriente en plena carga del motor, según como lo establece la sección 430.22

(A) del Capítulo 4 del NEC, mencionado anteriormente, lo cual da como resultado:

$$I_{conductor} = I_{nominal} * 125\% = 7,6 A * 1,25$$
$$I_{conductor} = 9,5 A$$

De la Tabla 310.16 (Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas, Anexos), se utiliza la columna de 60°C debido a que la corriente calculada se encuentra por debajo de los 100 A, las líneas vivas de este motor se deben seleccionar con un calibre #14 (tres hilos) modelo THHN, para compensar los aumentos de temperatura, a los que se pueda someter el conductor.

La línea “neutro” se selecciona bajo el criterio de los dos calibres más, respecto al calibre de las líneas vivas, dado que el calibre de estas líneas es #14, el calibre del conductor neutro se selecciona del mismo número, por lo tanto, el conductor del neutro es un #14 (un hilo), modelo THHN.

El conductor de tierra para este motor, se selecciona en función de la Tabla 250.122 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) del Capítulo 2 del NEC, la cual establece que para un disyuntor de 15 A, se debe utilizar un calibre #14 modelo THHN.

- Dispositivo de sobrecarga: Se aplica el criterio de la sección 430.32 (A) (1) para el cálculo de la corriente de disparo de esta protección.

Los datos de placa para este motor, indican un factor de servicio de 1.15 y una corriente de placa de 6 A, placa que se muestra en la Figura 21. Placa del Dosificador (Cocina de Goma), en la sección de Anexos, por lo que la corriente de sobrecarga calculada es:

$$I_{sobrecarga} = I_{placa} * 125\% = 6,0A * 1,25$$
$$I_{sobrecarga} = 7,5 A$$

Consultando la sección 240.6 (A) del Capítulo 2 del NEC, se selecciona una capacidad de corriente de disparo de 15 A para el dispositivo de protección contra sobrecarga.

- Caída de voltaje: Se utiliza la fórmula trifásica para el cálculo de la caída de tensión de este motor.

$$CV_{Dosificador} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V} = \frac{\sqrt{3} * 1,41 \Omega/Km * 24 m * 7,6 A}{1000 * 440 V} * 100\%$$

$$CV_{Dosificador} = 0,10\%$$

Una vez que se han calculado los calibres, las protecciones y las caídas de tensión de las respectivas cargas, se debe seleccionar el disyuntor principal y el calibre de los alimentadores de este tablero y calcular la caída de tensión correspondiente a este.

➤ **Tablero E (Cocina de Goma)**

- Dispositivo de protección contra cortocircuito: Como criterio de selección de la protección contra cortocircuito del tablero, se establece que la capacidad del disyuntor seleccionado, no debe ser superior a la suma de la capacidad del disyuntor mayor en amperios, más la corriente en plena carga de las demás cargas conectadas a este, por lo tanto:

$$I_{Principal-E} = I_{disyuntor\ mayor} + \sum I_{nominal\ de\ las\ demas\ cargas}$$

$$I_{Principal-E} = 150 A + \sum (1,1 A + 52,0 A + 7,6 A)$$

$$I_{Principal-E} = 210,7 A$$

La corriente calculada anteriormente, no puede ser menor que la capacidad interruptora del disyuntor de protección, por lo que el valor del disyuntor principal se debe seleccionar de acuerdo con el valor inferior siguiente, por lo tanto, el disyuntor seleccionado para proteger el Tablero E debe ser de 200 A, tres polos (trifásico), modelo JXD6-A.

Dado que el disyuntor instalado actualmente en el tablero es de 400 A, existe un sobredimensionamiento del doble de la capacidad requerida, por lo que se está incumpliendo con las condiciones mencionadas anteriormente,

generando, que ante una situación de cortocircuito en el tablero o en algún sector de la red eléctrica, el disyuntor principal del tablero no se dispare, y exponga a las cargas a daños severos.

- Calibre del alimentador: Para la selección del alimentador del tablero, se cumple con el criterio de diseño establecido por la sección 430.24 del Capítulo 4, la cual menciona que el calibre del alimentador de un tablero, se debe seleccionar para una capacidad de corriente, mayor que el 125% de la corriente del motor de mayor capacidad, más la corriente nominal de las demás cargas conectadas al tablero; por lo tanto, la corriente del alimentador es:

$$I_{Alimentador-E} = I_{Mayor} * 125\% + \sum I_{nominal\ de\ las\ demas\ cargas}$$

$$I_{Alimentador-E} = 52,0\ A * 1,25 + \sum (1,1\ A + 52,0\ A + 7,6\ A)$$

$$I_{Alimentador-E} = 125,7\ A$$

La corriente del alimentador calculada anteriormente, es la que se utiliza para seleccionar el calibre del alimentador del tablero, por lo que utilizando la Tablas 310.16 (Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas, Anexos) del Capítulo 3 del NEC, se selecciona un conductor para las líneas vivas de calibre #1, el cual soporta una corriente de 130 A, para la columna de 75°C. Dado que en Costa Rica no se utilizan los calibres #1 ni #3 para conductores eléctricos, la selección del alimentador del Tablero E se debe saltar al calibre próximo hacia abajo, por lo tanto, el calibre por seleccionar debe ser de 1/0, de preferencia modelo THHN.

Al comparar este valor, con el valor de la corriente soportada por el calibre de los conductores actual, se nota una marcada diferencia, debido a que actualmente el alimentador de este tablero es de 350 MCM, con dos hilos por fase (seis hilos), el cual puede soportar una corriente de hasta 310 A.

Esta condición de sobredimensionamiento no tiene ningún efecto adverso en el sistema, caso contrario a una condición de sobrecarga, donde se presentan aumentos de temperatura y caída de voltaje en las cargas, producto de la

distancia, así como la corriente que transporta el conductor y su área transversal entre otros.

- Caída de voltaje: Como el tablero es trifásico se utiliza la misma fórmula, con el detalle de que al valor de caída del tablero, se le debe sumar el porcentaje de caída de tensión mayor, de las cargas que este alimenta, por lo que se obtiene:

$$CV_{\text{Tablero E}} = \frac{\sqrt{3} * Z_e * L * I}{1000 * V * 2} = \frac{\sqrt{3} * 0,2 \Omega/Km * 85 m * 79,59 A}{1000 * 440 V * 2} * 100\%$$

$$CV_{\text{Tablero E}} = 0,266\%$$

$$CV_{\text{Tablero E TOTAL}} = 0,266\% + 1,26\% = 1,53\%$$

Como se puede observar, el valor de caída de tensión en el Tablero E es aceptable, ya que se encuentra por debajo del 5% permitido, según las recomendaciones del NEC.

Las impedancias utilizadas se calculan con base en la Tabla 9 (Tabla 31. Resistencia y reactancia de los conductores, Anexos) del Capítulo 9 del Código Eléctrico Nacional (NEC, 2008), en la cual, la columna de impedancia eficaz (Z_e) se calcula con base en un factor de potencia de 0,85. Considerando que estos factores pueden variar en las máquinas, desde 0,75 hasta 0,9, se toma la decisión de adaptar los datos de impedancia eficaz a un valor de factor de potencia aproximado de 0,80, con el fin de obtener valores más cercanos.

Este mismo procedimiento se desarrolla para los demás tableros y cargas de la red eléctrica, tanto para los tableros secundarios, como para los tableros principales y la acometida de la planta.

4.4. RECOMENDACIONES ELÉCTRICAS

Se plantean las recomendaciones necesarias para el sistema eléctrico, en función de las disposiciones impuestas por el NEC 2008, así como en las observaciones realizadas durante el levantamiento eléctrico.

Estas recomendaciones se plantean con base en cuatro criterios:

1. Sobrecarga (SC): Criterio aplicado tanto para la selección del calibre de los conductores como para la selección de disyuntores de manera general en la empresa.

Cuando estos elementos operan bajo condiciones de sobrecarga, se pueden presentar efectos adversos que pueden ocasionar sobrecalentamiento, tanto de líneas conductoras como de dispositivos de protección, aumentando el riesgo de un cortocircuito, ante la pérdida o falla en el aislamiento de los conductores o conexiones “vivas”.

Su prioridad se cataloga entre “Media” y “Alta”, en función de la criticidad de los valores de sobrecarga, del equipo que protege y/o alimenta y del factor de demanda de este.

Un ejemplo de este efecto se da en la tabla descriptiva del “Tablero de Pruebas”, ubicado en el Tablero TF-3, el cual se encuentra conectado al Tablero F. En esta tabla en las posiciones [13-15-17] y [14-16-18], se encuentran las salidas de prueba para compresores y máquinas ensambladoras de cajas, como los compresores que se prueban tienen motores de mayor tamaño, estos son los que se utilizan para dimensionar el disyuntor. En la sección de Anexos se muestra la Tabla 22. Tabla descriptiva del Tablero de Pruebas.

Las salidas se dimensionan para un motor de 7,5 HP (Salida de Pruebas #1) y para otro de 10 HP (Salida de pruebas #2), la corriente nominal para cada uno de estos motores, según la Tabla 430.250 (Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna, Anexos) del Capítulo 4 del Código Eléctrico de Costa Rica (NEC 2008), es de 22 A y 28 A respectivamente.

Utilizando el factor de 250% que establece la Tabla 430.52 (Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones, Anexos) del Capítulo 4 del NEC para la selección de disyuntores termomagnéticos de tiempo inverso, se obtienen las corrientes que deben ser capaces de soportar los disyuntores que protegen ambas salidas, por lo que se tiene 55 A para el motor de 7,5 HP y 70 A para el motor de 10 HP.

Según la sección 240.6 (A), para la Salida de pruebas #1 se debe seleccionar un disyuntor de 60 A; al tener instalado uno de 40 A, se presenta para este una situación de sobrecarga. Por otro lado, para la Salida de pruebas #2, se debe seleccionar un disyuntor de 70 A, teniendo instalado uno de 30 A.

2. Sobredimensionamiento (SD): Se aplica en la selección de disyuntores cuya capacidad interruptora se encuentra muy por encima del valor que especifica el Código Eléctrico para la carga, situación que puede exponer el equipo a daños y fallas en su funcionamiento.

Es necesario dimensionar el equipo de protección, acorde a su carga respectiva, de lo contrario, el disyuntor puede no dispararse en caso de un siniestro, dejando al equipo expuesto.

Su prioridad se establece en función del valor de sobredimensionamiento, de la carga que protege y del costo económico asociado a la corrección de esta recomendación.

Una prioridad “Baja”, indica que la capacidad del disyuntor que protege un determinado circuito ramal, no es estrictamente el mismo que establece el NEC, pero dadas las condiciones, no es urgente implementar la corrección.

Un ejemplo de este criterio se presenta en el Tablero de Oficinas #1 – Piso Superior, donde el disyuntor principal que protege a este tablero, tiene una capacidad de 125 A; si se realiza el mismo cálculo presentado en la sección de “Muestra de cálculo” del presente informe, para la selección del disyuntor principal de un tablero o centro de carga, el resultado infiere a la selección de un disyuntor de 60 A, representando un sobredimensionamiento del 200% y exponiendo las cargas a valores de corriente superiores a los que pueden soportar. Estos datos se muestran en la Tabla 23. Tabla descriptiva del Tablero Oficinas #1 - Piso Superior en la sección de Anexos.

3. Caída de voltaje (CV): La caída de voltaje se aplica únicamente para los conductores, su efecto y principios se mencionan en el apartado anterior, designado como marco teórico.

Este es un factor que debe ser tomado en cuenta y se le debe dar la importancia que amerita, ya que una alta caída de voltaje puede afectar, equipos sensibles a las variaciones de tensión asociadas a cada equipo, ocasionando que no operen de manera óptima y entren en estado de falla.

Este criterio se considera como prioridad “Media” y “Alta”, dependiendo de la distancia y de la criticidad del equipo o carga que alimente un determinado circuito ramal, en la red eléctrica de la planta.

Las caídas de voltaje más altas se presentan en el Tablero A, en conjunto con el Tablero TA-9-3 (Referencia previa a reasignar este tablero al Tablero A). Debido a las grandes distancias, adicionalmente, las cargas que alimenta este tablero son otros tableros, de los cuales algunos a su vez alimentan a otros sub-tableros. Esta configuración implica distancias acumulativas desde las cargas más lejanas hasta el Tablero Principal, lo que ocasiona grandes pérdidas de voltaje en los circuitos ramales de esas secciones. La caída de tensión estimada en el Tablero A es de 6,86%, tal y como se muestra en la Tabla 24. Tabla descriptiva del Tablero A, en la sección de Anexos.

4. Buenas prácticas eléctricas: Este criterio se encuentra asociado a la corrección de trabajos desarrollados en algunos sectores de la red eléctrica, los cuales no cumplen con la normativa propuesta, acciones que se realizaron para salir del estado de falla, pero nunca fueron correctamente corregidos ni se aplicaron criterios para su cumplimiento general.

Estas prácticas pueden ocasionar falsos contactos entre uniones o empalmes, sobrecalentamiento de líneas y disyuntores e inclusive, daños en los equipos expuestos a estas situaciones.

Ejemplo de estas prácticas indebidas, se presenta en el Tablero A-9-3, el cual alimenta la sección de iluminación general de la planta, la iluminación y tomacorrientes de todas las oficinas y algunas máquinas pequeñas de la sección de despacho. En este tablero, algunos de los disyuntores no solamente alimentan un circuito ramal, sino que alimentan dos, donde este último fue “añadido” en las terminales del disyuntor, dejando ambos circuitos en paralelo, tal y como se muestra en la Figura 22. Tablero TA-9-3 (Abierto) y en la Figura 23. Circuitos ramales en paralelo en el Tablero TA-9-3, en la sección de Anexos.

Esta acción puede generar sobrecarga en los disyuntores que operan bajo esta configuración, debido a que ambas cargas en sus terminales son otros tableros, los cuales a su vez alimentan otras cargas. Como recomendación, se debe asignar un

espacio en otro tablero, de manera que a cada tablero, paralelamente, se tenga asignado un disyuntor único y calculado para esa carga específica.

Las principales recomendaciones se plantean a continuación:

- Implementar las recomendaciones eléctricas planteadas en las siguientes tablas, donde se muestran las acciones por tomar, con el objetivo de cumplir con las disposiciones del Código Eléctrico de Costa Rica, es preciso mencionar que no todas las recomendaciones deben ser implementadas de manera inmediata, aunque se deben tener en consideración las que se catalogan con una prioridad “Media” y “Alta”.
Por otro lado, las recomendaciones planteadas quedan a criterio del Departamento de Mantenimiento de la empresa COCORISA, siendo este documento un medio de información de la situación actual en algunas secciones de la red eléctrica, por lo que es la empresa la que decide la forma de proceder, respecto a las recomendaciones.
Algunas de las recomendaciones planteadas en las siguientes tablas, no aparecen en la Tabla 14. Costo asociado a la compra de disyuntores, debido a que el costo por su ejecución es significativamente mayor, así como la prioridad que representa esta mejora y su impacto, por lo que se considera no ejecutar ninguna acción correctiva.
- Sustituir todos los disyuntores de tipo CC por disyuntores de tipo Fi o similares, en especial el disyuntor que protege el Tablero TA-9-3, el cual se encuentra conectado a 440V, aunque sus condiciones de operación indican que debe ser conectado a 220V. Esta situación representa una condición de sobrecarga, no solamente en términos de demanda, sino que también se están sobrecargando los bornes del disyuntor, los cuales no están dimensionados para esa tensión.

Tabla 8. Recomendaciones eléctricas del Tablero A.

Tablero: Impresión - TA					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TA-9-3	Transformador #2	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 225A, 3P por uno tipo Li de 600A, 3P.	SC	1 unid	Alta
		Incorporar este tablero al Tablero A Impresión [TA] con un disyuntor de 600A, mediante un kit marco Li de adaptación para PRL4.	SC	1 unid	Alta
		Cambiar calibre del alimentador de 1 hilo por fase 2/0 a 2 hilos por fase 250MCM.	SC	8 m	Alta
Subtablero: TA-1					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TA-1-5	Succionador de la Seco	Cambiar disyuntor tipo GHB de 50A, 3P por uno de 100A, 3P.	SC	1 unid	Alta
TA-1-3	Succionador de la Picadora	Cambiar disyuntor tipo GHB de 50A, 3P por uno de 100A, 3P.	SC	1 unid	Alta
Subtablero: TA-2					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TA-9	Tablero TA-2	Cambiar el disyuntor principal tipo KD de 350A, 3P por uno de 150A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TA-9-12	Engomadora EMBA #2	Incorporar esta carga al Tablero TA-2 [TA-9] con un disyuntor de 40A, 3P tipo Fi en la ubicación [32-33-34].	BP	1 unid	Media

Fuente: Propia

Tabla 7. Recomendaciones eléctricas del Tablero TA-9-3. Pt 1

Tablero: TA-9-3					
Subtablero: Tablero Oficinas #1 - Piso Superior - OFS					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
OFS	Tablero Oficinas #1 - Superior	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 125A, 2P por uno tipo Fi de 60A, 2P.	SD	1 unid	Media
Subtablero: Tablero Taller Mantenimiento [M] - TMM					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TMM	Tablero Taller Mantenimiento [M]	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 125A, 2P por uno tipo Fi de 150A, 2P.	SC	1 unid	Baja
		Cambiar calibre del alimentador de #2 a #4/0.	CV	95 m	Media
TMM-17	Tablero Laboratorio Calidad	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 70A, 2P por uno de 40A, 2P.	SD	1 unid	Baja
Sub-Subtablero: Tablero Iluminación Embaladora TMM-16					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TMM-13	Tablero Iluminación Embaladora	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 70A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
TMM-13-6	Iluminación Bodega	Cambiar calibre del conductor de #12 a #8.	CV	20 m	Baja
TMM-13-7	Tomacorrientes Bodega	Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	CV	18 m	Baja
Subtablero: Tablero Fotopolimeros [M] - TFM					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TFM	Tablero Fotopolimeros [M]	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 100A, 2P por uno de 80A, 2P.	SD	1 unid	Baja
Sub-Subtablero: Tablero Oficinas Despacho - TFM-7					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TFM-7	Tablero Oficinas Despacho	Cambiar calibre del alimentador de #8 a #2.	CV	40 m	Media
		Cambiar disyuntor principal tipo CH de 70A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
TFM-7-1	Tomacorrientes Of. Producción	Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	CV	14 m	Baja
TFM-7-2	Iluminación Of. Producción	Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	CV	16 m	Baja
TFM-7-7	Iluminación Of. Costos y Gestión	Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	CV	12 m	Baja

Fuente: Propia

Tabla 9. Recomendaciones eléctricas para el Tablero TA-9-3. Pt 2

Tablero: TA-9-3					
Subtablero: Tablero Departiciones - TDT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TDT	Tablero Departiciones	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 200A, 3P por uno tipo Fi de 90A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TDT-9	Enfriador de agua	Cambiar calibre de conductor de #10 a #2.	CV	67 m	Alta
Subtablero: Tablero Taller de troqueles - TTT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TTT	Tablero Taller Troqueles	Cambiar calibre del alimentador de #2 a 2/0.	CV	56 m	Media
		Cambiar disyuntor principal tipo Fi de 225A, 3P por uno de 150A, 3P.	SD	1 unid	Baja
Sub-subtablero: Tablero A/C Soda - TTT-10					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TTT-10	Tablero A/C Soda	Incorporar este tablero al Tablero Taller de Troqueles [TTT] con un disyuntor de 30A, 2P tipo GHB en la posición [7-9].	BP	1 unid	Media
TTT-10-1	A/C Soda #1	Cambiar calibre del conductor de #10 a #8.	CV	16 m	Baja
TTT-10-8	A/C Soda #2	Cambiar calibre del conductor de #10 a #8.	CV	21 m	Baja
TTT-13	Tablero Iluminación Conveyors	Incorporar este tablero al Tablero Conveyors [TCT] con un disyuntor de 40A, 2P tipo CH en la posición [1-3].	BP	1 unid	Media
Subtablero: Tablero Conveyors - TCT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TCT	Tablero Conveyors	Cambiar disyuntor principal de tipo CC de 175A, 3P por uno tipo Fi de 50A, 3P con la carga actual o uno de 70A, 3P considerando la conexión del Tablero Iluminación Conveyors (TTT-13).	SD	1 unid	Media
Subtablero: Tablero Salida Stackers - TST					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TST	Tablero Salida Stackers	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 200A, 3P por uno tipo Fi de 125A, 3P.	SD	1 unid	Baja
		Cambiar calibre del alimentador de #2 a 1/0.	CV	58 m	Media
Sub-Subtablero: Tablero Auxiliar Extractores - TST-1					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TST-1	Tablero Auxiliar Extractores	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 100A, 3P por uno de 60A, 3P.	SD	1 unid	Media
TST-1-1	Panel de Extractores	Cambiar disyuntor tipo CH de 50A, 3P por uno de 40A, 3P.	SD	1 unid	Baja
Subtablero: Tablero Bodega Andén #3 - B3M					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B3M	Tablero Bodega Andén #3	Cambiar calibre del alimentador de #2 a 4/0.	94 m	CV	Media
NOTA: Se considera el traslado del Tablero Oficinas Despacho (UPS) [B3M-19] al Tablero TA-9-3.					
Sub-Subtablero: Tablero Caseta de Seguridad #3 - B3M-16					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B3M-16	Tablero Caseta de Seguridad #3	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 125A, 2P por uno de 30A, 2P.	SD	1 unid	Baja
B3M-16-2	Tomacorrientes 110v	Cambiar disyuntor tipo CH de 50A, 2P por uno de 20A, 2P.	SD	1 unid	Baja
Sub-Subtablero: Tablero Iluminación Andén #3 - B3M-20					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B3M-20	Tablero Iluminación Andén #3	Incorporar este tablero al Tablero Bodega Andén #3 [B3M] con un disyuntor de 70A, 2P tipo CH en la posición [19-21].	BP	1 unid	Media
B3M-20-5	Tomacorriente 220v	Cambiar disyuntor tipo CH de 100A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
		Cambiar calibre del conductor de #8 a #2.	CV	22 m	Media
Sub-Subtablero: Tablero Iluminación Calderas - B3M-15					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B3M-15	Tablero Iluminación Calderas	Cambiar calibre del alimentador de #8 a #4.	CV	10 m	Media
Sub-Subtablero: Tablero Oficinas de Despacho (UPS) - B3M-19					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B3M-15	Tablero Oficinas de Despacho	Trasladar este tablero al Tablero TA-9-3 con un disyuntor de 20A, 2P tipo Fi en la posición [32-34].	BP	1 unid	Media
		Cambiar calibre del alimentador de #8 a #6.	CV	40 m	Baja

Fuente: Propia

Tabla 10. Recomendaciones eléctricas para el Tablero TA-9-3. Pt 3

Tablero: TA-9-3					
Subtablero: Tablero Oficinas #1 - Piso Inferior - OFI					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
OFI	Iluminación Oficinas #1 Inferior	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 125A, 2P por uno tipo Fi de 70A, 2P.	SD	1 unid.	Baja
Sub-Subtablero: Tablero Caseta de Seguridad #2 - OFI-13					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
OFI-13-3	Iluminación Parque Bajo Techo	Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	CV	20 m	Baja
Subtablero: Tablero Impresoras - TIT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TIT	Tablero Impresoras	Cambiar disyuntor principal tipo Fi de 175A, 3P por uno de 150A, 3P.	SD	1 unid	Baja
		Cambiar calibre del alimentador de #2 a 4/0.	CV	68 m	Media
TIT-1	Tablero Iluminación Corrugadora	Cambiar disyuntor principal tipo CH de 40A, 2P por uno de 70A, 2P.	SC	1 unid	Media
		Cambiar calibre del alimentador de #2 a 2/0.	CV	40 m	Media
TIT-5	Calentador de Agua	Cambiar disyuntor tipo CH de 70A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
Subtablero: Tablero Fotopolímeros [T] - TFT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TFT	Tablero Fotopolímeros [T]	Cambiar calibre del alimentador de #2 a 2/0.	CV	40 m	Media
		Cambiar disyuntor principal tipo CC de 200A, 3P por uno tipo Fi de 175A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TFT-1	Lavadora de Láminas	Cambiar disyuntor tipo CH de 30A, 3P por uno de 50A, 3P.	SC	1 unid	Baja
TFT-2	Calentador de Agua	Cambiar calibre del conductor de #10 a #8.	CV	7 m	Baja
TFT-10	Recuperadora	Cambiar calibre del conductor de #10 a #6.	CV	11 m	Baja
TFT-14	Expositora	Cambiar calibre del conductor de #8 a #6.	SC	14 m	Baja
		Cambiar disyuntor tipo CH de 30A, 3P por uno de 40A, 3P.	SC	1 unid	Baja
TFT-16	Cámara de Radiación	Cambiar calibre del conductor de #10 a #8.	CV	16 m	Baja
Subtablero: Tablero Acabado - TAT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TAT	Tablero Acabado	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 200A, 3P por uno tipo Fi de 100A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TAT-1	Engomadora EMBA #1	Cambiar disyuntor tipo CH de 25A, 3P por uno de 30A, 3P.	SC	1 unid	Baja
TAT-2	Cortadora EMBA #1	Cambiar disyuntor tipo CH de 25A, 3P por uno de 30A, 3P.	SC	1 unid	Baja
TAT-26	Tomacorriente 220v	Cambiar calibre del conductor de #8 a #6.	SC	1 m	Baja
Subtablero: Tablero Taller Mantenimiento [T] - TMT					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TMT	Tablero Taller Mantenimiento [T]	Cambiar calibre del alimentador de #2 a 2/0.	CV	88 m	Media
TMT-9	Tomacorriente 220v	Cambiar disyuntor tipo CH de 60A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
TMT-10	Banco Eléctrico de Trabajo	Cambiar disyuntor tipo CH de 70A, 2P por uno de 50A, 2P.	SD	1 unid	Baja
Subtablero: Tablero Bodega Andén #2 -B2M					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
B2M	Tablero Bodega Andén #2	Cambiar disyuntor principal tipo CC de 150A, 3P por uno tipo Fi de 50A, 3P.	SD	1 unid	Media
B2M-1	A/C Oficina	Cambiar calibre del conductor de #12 a #8.	CV	20 m	Baja
B2M-8	A/C Oficina	Cambiar calibre del conductor de #12 a #8.	CV	18 m	Baja
B2M-9	A/C Oficina	Cambiar calibre del conductor de #12 a #8.	CV	21 m	Baja
B2M-4	Tablero Iluminación Andén #2	Incorporar este tablero al Tablero Bodega Andén #2 [B2M] con un disyuntor de 30A, 2P tipo CH en la ubicación [9-11].	BP	1 unid	Media

Fuente: Propia

Tabla 11. Recomendaciones eléctricas para los Tableros B, D, E, F y G

Tablero: Cuarto de Calderas - TB					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TB	Cuarto de Calderas	Cambiar disyuntor principal tipo JXD6-A de 300A, 3P por uno tipo FXD6-A de 150A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TB-1	Bomba de Agua - Baviera	Cambiar disyuntor tipo Fi de 30A, 3P por uno de 40A, 3P.	SC	1 unid	Baja
TB-9	Abanico Caldera #1	Cambiar disyuntor tipo Fi de 50A, 3P por uno de 70A, 3P.	SC	1 unid	Media
Tablero: Flauta B - TD					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TD	Flauta B	Cambiar disyuntor principal tipo LXD6-A de 500A, 3P por uno tipo JXD6-A de 300A, 3P.	SD	1 unid	Media
Tablero: Cocina de Goma - TE					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TE	Cocina de Goma	Cambiar disyuntor principal tipo FXD6-A de 400A, 3P por uno de 225A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TE-1	Mezclador de Goma	Cambiar el calibre del conductor de #10 a #4.	SC	19 m	Alta
		Cambiar disyuntor tipo FXD6-A de 250A, 3P por uno de 150A, 3P.	SD	1 unid	Baja
TE-4	Succionador AGNATI	Cambiar el disyuntor tipo ED4 de 70A, 3P por uno de 125A, 3P.	SC	1 unid	Alta
Tablero: Secado - TF					
Subtablero: Transformador #3 - TF-3					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TF-3	Transformador #3	Cambiar disyuntor principal tipo ED4 de 100A, 3P por uno de 125A, 3P.	SC	1 unid	Baja
Sub-Subtablero: Tablero de Pruebas - TF-3-16					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TF-3-15	Tablero de Pruebas	Cambiar el calibre del alimentador de #4 a #2.	CV	47 m	Baja
TF-3-15-6	Salida de Pruebas #1	Cambiar disyuntor tipo CH de 40A, 3P por uno de 60A, 3P.	SC	1 unid	Media
		Cambiar calibre del conductor de #12 a #10.	SC	12 m	Media
TF-3-15-16	Salida de Pruebas #2	Cambiar disyuntor tipo CH de 30A, 3P por uno de 70A, 3P.	SC	1 unid	Media
TF-3-15-17	Iluminación Provisional	Cambiar disyuntor tipo CH de 20A, 3P por uno de 20A, 1P.	BP	1 unid	Baja
Tablero: Cortadoras - TG					
Referencia	Carga	Recomendación	Justificación	Cantidad	Prioridad
TG	Cortadoras	Cambiar disyuntor principal tipo LXD6-A de 600A, 3P por uno de 400A, 3P.	SD	1 unid	Baja

Fuente: Propia

4.5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El estudio del sistema de tierras, para la empresa COCORISA, se realizó mediante la contratación de una compañía externa, debido a la falta de equipo especializado para la toma precisa y concisa de datos, con base en los cuales se establecen los resultados.

La empresa subcontratada fue MM and Industries, luego de una comparación entre las otras empresas cotizadas para el mismo servicio. Esta fue la encargada de llevar a cabo, las mediciones en la malla de tierras principal de la red eléctrica, identificar las secciones críticas de la red y establecer las recomendaciones asociadas a estas.

Se coordinó un paro programado, para ejecutar la desconexión de las cuchillas principales de la planta, con el objetivo de garantizar la seguridad de todo el personal, presente durante la ejecución del análisis, así como evitar intervenir con el proceso productivo.

El equipo utilizado por la compañía es el KDDQ Modelo DER2571B, para implementar el método de los tres puntos, descrito en las secciones anteriores.

Para la ejecución del estudio de tierras, fue necesario realizar labores de remodelación en la subestación de la empresa, específicamente en la malla de tierras, ya que las varillas tienen como caja de registro, un tubo PVC de cuatro pulgadas de diámetro, lo que impide el acceso a las varillas, por parte de cualquier equipo de medición. Por este motivo, previo al estudio de tierras se realizaron cajas de registro, para cada una de las seis varillas de cobre que integran la malla de tierras principal de la empresa. Estas cajas tienen unas dimensiones de 30x30 cm y una profundidad de aproximadamente 30 cm, dejando al descubierto unos 10 cm de cada varilla, sobre el nivel del suelo.

Una vez que el representante de la empresa MM and Industries, ejecuta un proceso de inspección de la malla de tierras y de la subestación como tal, se establecen las condiciones requeridas y se genera la orden de compra para el servicio, proceso que toma aproximadamente un mes de duración, debido a las políticas internas de aprobación, por parte de la empresa COCORISA.

Después de que la orden de compra por este servicio es aprobada y las cajas de registro de las varillas se han terminado, se coordina la ejecución del estudio propuesto con el representante de MM and Industries.

El mismo día que se coordinó la ejecución de estudio de tierras, también se realizó el drenaje de la tubería principal de la acometida, por lo que fue necesario coordinar con el asesor industrial de la ESPH, la desconexión de las cuchillas en el poste.

El procedimiento comienza con la desconexión de la malla secundaria de tierras, la cual se encuentra junto al cuarto de compresores, a menos de 80 metros de la malla principal, motivo por el cual es necesario unificarlas, lo que permitió identificar que el conductor de tierra destinado para esta función, se encuentra conectado de manera incorrecta, por lo que las mallas no se encuentran debidamente unificadas.

Una vez que se desconectó la malla secundaria del tablero, se colocaron los dos electrodos de referencia a una distancia mayor a los 20 metros, tal y como se muestra en las siguientes figuras.



Fuente: Propia

Figura 10. Conexión del equipo - Malla secundaria

Se tomaron dos mediciones bajo condiciones diferentes, una primera contempló solamente la malla de tierras, desconectada completamente de la estructura tal y como se muestran en la Figura 11. Medición de la malla de tierras secundaria despegada de la estructura, mientras que una segunda medición contempla la malla secundaria con la

estructura del cuarto de compresores, mostrada en la Figura 12. Medición de la malla de tierras secundaria pegada a la estructura.

Fuente: Propia

Figura 11. Medición de la malla de tierras secundaria despegada de la estructura



Fuente: Propia

Figura 12. Medición de la malla de tierras secundaria pegada a la estructura

Luego se continuó con la medición de la malla de tierras principal de la empresa, cuyas mediciones se tomaron bajo distintas condiciones, una primera contempla la malla conectada a todos los puntos de la estructura, mientras que la segunda, se mide con la malla completamente desconectada de todos los puntos de la subestación.

Previo a la medición se realizó un soplado y limpieza del transformador principal de la empresa y la subestación en general.

En la FFFF se muestra la medición con la malla de tierras conectada a los puntos de la estructura de la subestación, mientras que en la FFFF se muestra la medición de solamente la malla de tierras, desconectada de la estructura.



Fuente: Propia

Figura 13. Medición de la malla de tierras principal unida a la estructura



Fuente: Propia

Figura 14. Medición de la malla de tierras principal desconectada de la estructura

Una vez tomadas las mediciones, se formula un informe por parte de la empresa que ejecutó el estudio, el cual contiene las conclusiones y recomendaciones referentes al sistema de puesta a tierra de la empresa.

4.6. ANÁLISIS FINANCIERO

Como parte del análisis financiero, se realiza un comparativo entre las tres empresas consultadas, para implementar los servicios requeridos por la empresa, el cual contempla el estudio de tierras realizado, así como un estudio de cortocircuito, para el cual ya se tienen todos los datos necesarios para su ejecución, producto del levantamiento eléctrico, pero por cuestiones de tiempo, su contratación no concordó cronológicamente con la finalización y entrega del presente proyecto.

El otro servicio cotizado fue el de mantenimiento de la subestación de la empresa, específicamente en el transformador principal, el cual incluye pruebas de aislamiento a los devanados, ajuste de las uniones o conectores, limpieza general de los conductores y demás elementos que la integran. Este estudio es necesario para comprobar el estado del transformador, con el fin de identificar fallas potenciales, en especial, debido a una situación interna, donde se presentó una condición de cortocircuito, aguas abajo del interruptor principal, ubicado justo después del transformador, el cual no se disparó, por lo que el transformador pudo haber sufrido algún efecto producto de la sobrecorriente.

El otro estudio necesario consiste en el análisis del factor de potencia de la empresa, el cual forma parte de un estudio de calidad de energía. Este estudio no se pudo realizar, debido a que la finalidad de conocer la calidad de la energía en la empresa, era conocer el impacto de la incorporación de la empresa Sacos, al plantel de COCORISA. A pesar de que la mitad de la maquinaria de Sacos ya ha sido trasladada a su nueva ubicación, la producción de esta se encuentra apenas en el 30%, por lo que invertir en la ejecución de este estudio significaría, obtener valores que van a ser obsoletos en un plazo de aproximadamente dos meses, lapso que proyecta la empresa Sacos, para concluir su traslado.

Por lo tanto, se plantea la recomendación y se establece la cotización de los servicios mencionados anteriormente, a tres empresas distintas: Itecna, MM and Industries y GD Ingeniería. El cuadro comparativo de las cotizaciones por los servicios requeridos es el siguiente:

Tabla 12. Comparativo de cotizaciones por servicios contratados.

Cotización de Servicios Eléctricos para la empresa Cocorisa			
Servicio	Proveedor	Precio (\$)	Precio (¢)
Inspección y medición de la malla de tierras	MM and Industries	\$ 778,58	¢ 435.226,22
	ITECNA	\$ 2.500,00	¢ 1.397.500,00
	GD Ingeniería	\$ 1.800,00	¢ 1.006.200,00
Estudio de Cortocircuito	MM and Industries	\$ 2.482,78	¢ 1.387.873,89
	Itecna	\$ 12.000,00	¢ 6.708.000,00
	GD Ingeniería	\$ 5.800,00	¢ 3.242.200,00
Mantenimiento de la Subestación	MM and Industries	\$ 2.296,57	¢ 1.283.782,63
	Itecna	\$ 3.630,00	¢ 2.029.170,00
	GD Ingeniería	\$ 2.845,00	¢ 1.590.355,00
Estudio de Calidad de Energía	MM and Industries	\$ 1.574,24	¢ 880.000,00
	Itecna	\$ 650,00	¢ 363.350,00
Tipo de cambio al día 12/10/2016 según el Banco Nacional de Costa Rica. 1\$ = ¢559,00			

Fuente: Propia

El estudio de tierras se contrató con la empresa MM and Industries, por decisión del Departamento de Compras, quienes aprueban las órdenes de compra para la subcontratación de servicios. Parte de la cotización de esta empresa se muestra en la Figura 26. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 1 y en la Figura 27. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 2.

Por otro lado, para cada recomendación mencionada en las etapas anteriores, del presente documento, se calcula un costo asociado a su implementación, el cual contempla el costo por la adquisición de los elementos necesarios (disyuntores y conductores) así como el costo de mano de obra para su ejecución, en la Tabla 13. Costo asociado al calibre de los conductores. En la sección de Anexos, se muestra el costo para cada calibre de conductor, en función de la distancia necesaria; la cotización original se muestra en la Figura 24. Cotización de conductores - Mundo Eléctrico, en la sección de Anexos.

Tabla 13. Costo asociado al calibre de los conductores

Costo por Calibres de Conductores			
Tipo	Calibre	Distancia (m)	Costo (₡)
THHN	250 MCM	378	₡ 4.138.000,02
THHN	4/0 AWG	762	₡ 4.577.745,48
THHN	3/0 AWG	63	₡ 383.665,59
THHN	2/0 AWG	979	₡ 4.764.959,43
THHN	1/0 AWG	461	₡ 120.689,80
THHN	#2 AWG	489	₡ 854.723,10
THHN	#4 AWG	148	₡ 152.706,40
THHN	#6 AWG	192	₡ 131.577,60
THHN	#8 AWG	329	₡ 135.784,88
THHN	#10 AWG	120	₡ 31.416,00
Sub-Total:			₡ 19.858.790,00
Impuesto de venta:			₡ 1.987.864,00
Total:			₡ 17.279.133,00

Fuente: Propia

Los costos asociados a la compra de los disyuntores necesarios para la ejecución de las recomendaciones, se muestran en la Tabla 14. Costo asociado a la compra de disyuntores. Algunos de los precios de esta tabla se obtuvieron a partir de la cotización mostrada en la Figura 25. Cotización de disyuntores - Mundo Eléctrico, en la sección de Anexos, mientras que los otros fueron obtenidos del catálogo con la lista de precios de EATON, los precios de este catálogo se sub-dimensionaron un 84% respecto al precio mostrado. Debido a políticas de comercio con los distribuidores, este valor se determinó comparando los precios de los disyuntores de la cotización de Mundo Eléctrico respecto a los mostrados en el catálogo de EATON, lo que añade mayor porcentaje de error a los resultados.

En cuanto a los disyuntores marca Siemens, debido a que los modelos son muy viejos, no se pudo encontrar un precio oficial en el mercado, por lo que para efectos de cálculo del presente proyecto, los precios se obtuvieron de una tienda virtual llamada Súper Breakers. (Super Breakers, 2016)

Si se establece un tiempo aproximado de una hora, para reemplazar un disyuntor, siendo realizado por dos personas (según las políticas de seguridad del grupo Smurfit Kappa, los trabajos eléctricos deben ser realizados por un mínimo de dos personas) y un tiempo aproximado de tres horas para sustituir los conductores de un ramal, siendo realizado por un mínimo de dos personas, se puede establecer un costo aproximado de la mano de obra, tomando como referencia un valor de ₡3 000, 00 por hora/hombre (dato brindado por la Jefatura de Mantenimiento de la empresa COCORISA).

Tabla 14. Costo asociado a la compra de disyuntores

Costo de los Disyuntores				
Tipo	Capacidad (A)	# Polos	Cantidad	Costo (₡)
GHB	30	2	1	₡ 137.859,19
GHB	100	3	2	₡ 399.360,64
Fi	20	2	1	₡ 162.503,91
Fi	40	3	2	₡ 390.616,56
Fi	50	3	2	₡ 390.616,56
Fi	60	2	1	₡ 162.503,91
Fi	70	2	1	₡ 173.804,13
Fi	70	3	2	₡ 335.241,00
Fi	90	3	1	₡ 223.390,17
Fi	100	3	1	₡ 223.390,17
Fi	125	3	1	₡ 385.809,75
Fi	150	2	1	₡ 338.500,62
Fi	150	3	1	₡ 385.809,75
Fi	175	3	2	₡ 868.936,32
LI	600	3	1	₡ 1.354.677,12
CH	20	1	1	₡ 6.234,00
CH	20	2	2	₡ 25.989,00
CH	30	2	1	₡ 14.457,75
CH	30	3	2	₡ 88.339,50
CH	40	2	3	₡ 53.642,25
CH	40	3	2	₡ 88.339,50
CH	50	3	2	₡ 41.477,00
CH	50	2	5	₡ 93.956,25
CH	60	3	2	₡ 89.050,50
CH	70	2	2	₡ 37.965,00
CH	70	3	2	₡ 126.873,00
CH	80	2	1	₡ 40.473,75
ED	125	3	2	₡ 386.237,32
FXD6-A	150	3	2	₡ 524.272,13
FXD6-A	225	3	1	₡ 262.555,31
LXD6-A	400	3	2	₡ 872.040,00
KPRL4FD3	225 MAX	3	1	₡ 80.590,00
KPRL4LC	600 MAX	3	1	₡ 244.340,00
Sub-Total:				₡ 9.009.852,06
Impuesto de venta:				₡ 1.278.866,14
Total:				₡ 10.288.718,20

Fuente: Propia

Esto representa una duración total aproximada no continua de unas 160 horas, solo en la implementación de las correcciones eléctricas propuestas en las tablas anteriores, lo que representa un costo para la empresa de ¢960 000,00 por las horas/hombre de los dos técnicos implicados en cada trabajo, a lo cual se le debe agregar la remuneración económica brindada al desarrollador del presente proyecto, la cual representa un costo para la empresa de aproximadamente ¢1 500 000,00 por los cuatro meses y medio de permanencia en la organización.

Es importante mencionar, que la implementación de las recomendaciones planteadas en este proyecto, se va a desarrollar por orden de prioridades y de manera periódica, no como un solo proyecto. Esto implica, que el costo asociado a la totalidad del proyecto no es costado de forma inmediata, por lo que el análisis financiero comprende únicamente los costos asociados a los servicios subcontratados, sin incorporar las cotizaciones de los servicios que deben ser realizados posteriormente.

Para adquirir las cajas de registro mencionadas en las etapas anteriores, fue necesario alquilar equipo de demolición para romper el concreto, por lo que se cotizó en varias empresas con el fin de comparar costos.

El contratista seleccionado fue Construcciones y Derivados Wesceslao S.A., empresa que cuenta con el equipo necesario para instalar dichas cajas. La cotización por este servicio se muestra en la Figura 28. Cotización por las cajas de registro en la malla de tierras, en la sección de Anexos.

Por último, se establece una relación Costo/Beneficio de la corrección del factor de potencia, bajo la proyección de cargas planteada en la sección de Análisis del Factor de Potencia, las cuales establecen que se deben comprar seis capacitores de 20 kVAr cada uno, con el fin de incorporar al banco tres etapas adicionales. Los capacitores representan un costo de ¢750 893,40 a lo cual hay que sumarle la compra de contactores, fusibles y filtros. Solamente por la compra de los contactores para las tres etapas de 40 kVAr, la inversión aumenta ¢868 048,05.

Para el costo por mano de obra en la implementación de la conexión, así como la reparación de las etapas dañadas, se puede calcular un tiempo de siete horas en total, lo que costaría a la empresa ¢42 000,00 por los dos técnicos necesarios.

Esto representa una inversión aproximada de ¢1 660 941,45, valor que se encuentra por encima de los ¢25 000,00 por las multas promedio mensuales.

De realizarse esta inversión, el tiempo estimado de retorno de la inversión es de aproximadamente cinco años y cinco meses.

En la siguiente tabla se muestra un resumen, de los gastos implicados en la implementación del proyecto, incluyendo todos los aspectos adicionales. A pesar de que se cotizaron los servicios del estudio de calidad de energía, estudio de cortocircuito y mantenimiento de la subestación, no se incluyeron en los costos finales, debido a que no se ejecutaron durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 15. Costo total aproximado del proyecto

Costo del proyecto	
Compra de disyuntores	¢ 10.288.718,20
Compra de conductores	¢ 17.279.133,00
Compra de capacitores y contactores	¢ 1.618.941,45
Estudio de Tierras	¢ 435.226,22
Cajas de registro	¢ 380.000,00
Mano de obra	¢ 2.502.000,00
TOTAL:	¢ 32.504.018,87

Fuente: Propia

4.7. MANUALES DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Como parte de la venta de COCORISA y Fotolit del grupo CYBSA al grupo Smurfit Kappa, se estableció una serie de condiciones y normativas, que deben ser consideradas, no solamente por estas empresas, sino por todas las que operan dentro el mismo grupo, como parte de un estándar de calidad que este ofrece.




Entre estos estándares que el nuevo grupo solicita a la empresa, se encuentra la incorporación de manuales de mantenimiento autónomo, como parte de la excelencia operacional que establecen sus políticas internacionales.

La principal característica de un manual de mantenimiento autónomo es, que su ejecución es llevada a cabo por los mismos operarios de las máquinas, prácticas que no solo mejoran la confiabilidad de los equipos, sino que también minimizan los tiempos muertos por fallas, al facilitar la identificación de fallas potenciales, en las máquinas que operan.

Tomando como base el formato preestablecido por el grupo Smurfit Kappa para el diseño de estos documentos, se adaptaron los manuales de mantenimiento a la sección de corrugado, desde las empalmadoras hasta los apiladores o *stackers*, permitiendo estandarizar las labores rutinarias para cada una de las máquinas, como parte de una mejora en la calidad.

El formato contiene un encabezado que incluye el nombre de la máquina que representa, la versión del documento (al ser la primera versión de este tipo de documento en la empresa, se designa la versión como 2016), el nombre de la empresa con el logo del grupo Smurfit Kappa, así como una simbología del método de acción para cada procedimiento, entre los cuales se encuentran lubricación, limpieza, inspección, entre otros.

El formato del encabezado propuesto para los manuales de mantenimiento autónomo se muestra en la siguiente figura:

													Mantenimiento Autónomo										
Doble Engomador IM-14		Versión	Fecha	Simbología								COCORISA											
		2016	__/__/__		Lubricación	Ajuste	Inspección	Sacudido	Control Visual	Engrase	Pruebas de seguridad												
N°	Vista Máquina	Sección	Procedimiento	Método	Consideraciones	Frecuencia	Duración	Personal	En caliente	Observaciones	Vista General												

Fuente: Propia

Figura 15. Encabezado del formato para el Manual de Mantenimiento Autónomo

En la figura anterior, se muestra el encabezado para el manual de mantenimiento del doble engomador, con su respectivo código de identificación.

El cuerpo de estos formatos se encuentra compuesto por una serie de columnas, cuyos títulos se pueden observar en la figura anterior.

Cada columna tiene una función específica dentro del formato, la cual fue asignada de la siguiente manera.

➤ N°: En esta sección se designa un valor u orden del procedimiento, conformado por un número natural, designa la cronología de pasos para ejecutar una acción.

➤ Vista Máquina: Consiste en una fotografía tomada al elemento en la máquina al cual se hace referencia. En algunas ocasiones se complementa con una flecha, para marcar un punto específico, ya sea un rodamiento, un elemento de seguridad, un indicador o un dispositivo, entre otros. Tiene la función de facilitar al operador, la identificación del elemento en cuestión, reduciendo la cantidad de tiempo requerida para ejecutar una determinada labor.

➤ Sección: Designa el nombre o la referencia, del elemento de interés, o bien menciona una muy breve explicación del elemento, se complementa mediante la vista de la máquina, y corresponde al componente al que se le va a aplicar algún plan de mantenimiento. Ejemplo de esta sección se pueden mencionar el rodillo engomador, cojinetes del rodillo de presión, interruptor principal, entre otros.

➤ Procedimiento: Consiste en una breve descripción del procedimiento que se le debe aplicar al elemento y va a depender de la categoría de tarea en la que se encuentre, ya que los manuales de mantenimiento se dividen en secciones de Inspección, Limpieza, Lubricación, Sistemas de Seguridad y Sistema Neumático de la máquina, según corresponda. Entre los ejemplos se pueden mencionar la remoción de polvo, verificar estado y funcionamiento del elemento, entre otros.

➤ Método: Designa el procedimiento que debe ser ejecutado por el operario, mediante la implementación de la simbología; los métodos se asignan con una leyenda que representa la acción por realizar. Entre los que se muestran se encuentran la lubricación y el engrase, los cuales constituyen dos métodos distintos de implementación. Además, también se incluyen la limpieza, el ajuste, control visual e inspección de seguridad.

➤ Consideraciones: Las consideraciones representan información adicional, que el usuario pueda requerir en el momento de ejecutar una determinada labor, detalles adicionales o alguna advertencia de seguridad. Para el caso de la sección de

lubricación, la columna de Consideraciones indica el tipo de grasa o aceite que debe ser utilizado, para cada uno de los elementos determinados, mientras que para la sección de Sistema Neumático, esta misma columna indica la presión a la que se deben regular, las válvulas del equipo.

➤ Frecuencia: Especifica el lapso entre cada intervención a la máquina, varía en función del procedimiento y del equipo mismo. Este valor se estableció en función de las tablas de mantenimiento, provenientes de cada uno de los manuales de las máquinas. En los casos de las máquinas, de las que no se tienen manuales a disposición, la frecuencia se estableció en conjunto con el Departamento de Mantenimiento de COCORISA, considerando las rutas de lubricación, que utilizan actualmente para la corrugadora.

Las frecuencias se pueden dar en lapsos diarios, semanales, bisemanales, quincenales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, así como algunos casos muy específicos.

➤ Duración: La duración corresponde a un lapso aproximado, en el cual se puede ejecutar dicho procedimiento; en la mayoría de los casos, al ser acciones de inspección y limpieza, pueden ser llevadas a cabo en un máximo de 10 minutos.

➤ Personal: Se refiere a la cantidad de personas necesarias para realizar el trabajo, ya que en algunos casos, por cuestiones de seguridad o eficiencia, se va a requerir de más de una persona, con el fin de garantizar un resultado óptimo en la ejecución de la tarea.

➤ En caliente: Esta columna hace referencia, a la necesidad de mantener el equipo en funcionamiento o energizado, para realizar una determinada labor, de las incluidas en estos manuales. Por políticas de seguridad de la empresa, cualquier acción de mantenimiento general, debe ejecutarse bajo la desconexión de la alimentación eléctrica, por lo que cada fila en esta columna se encuentra designada con un NO, indicando que para ejecutar dicho procedimiento, el equipo debe estar desconectado de la red eléctrica de la empresa.

➤ Observaciones: En esta columna se incluye cualquier información adicional, que no haya sido abarcada en las columnas anteriores, referente al procedimiento y

aspectos generales, se deja a criterio del Departamento de Mantenimiento el uso que se le pueda dar a esta columna.

➤ Vista General: Esta última columna representa una imagen más general de la máquina en cuestión, su función es brindar al usuario un panorama más amplio del lugar de trabajo, el cual facilite la ubicación de los elementos por intervenir.

En la Tabla 32. Formato del manual de mantenimiento autónomo para la cortadora master, en la sección de Anexos, se muestra una vista reducida, simplificada y recortada de uno de los manuales de mantenimiento propuestos. Esta figura se realiza con el fin de ejemplificar, a grandes rasgos, el contenido de los documentos redactados, ya que por su extensión, no pueden ser incorporados por completo en una sola imagen.

Cabe destacar, que las fotografías adjuntas en estos Manuales de Mantenimiento Autónomo, fueron tomadas en la empresa, con el fin de evitar confusiones en aspectos como modelos, colores, elementos modificados o posición de cada uno de los elementos y máquinas.

4.8. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA

El estudio de calidad de energía, que se planeaba realizar, debió posponerse, ya que su objetivo principal era conocer, el impacto que las máquinas de la empresa Sacos iban a generar sobre los consumos de la red eléctrica, al estar compartiendo el mismo transformador principal.

Para que los resultados de este estudio fueran, lo más cercanos posible a la realidad, lo ideal es que la empresa Sacos lograra una producción de al menos el 80%, de manera que los valores obtenidos reflejaran el comportamiento real del factor de potencia en su totalidad. Como actualmente la empresa se encuentra aún en proceso de traspaso, la Gerencia del Departamento de Mantenimiento, decidió que el estudio de Calidad de Energía sería ejecutado, hasta que esta condición anterior se presente; de lo contrario, se estaría desperdiciando tiempo y recursos, además de que se estarían obteniendo datos temporales.

A pesar de que por cuestiones de tiempo, no se pudo realizar a profundidad un estudio de calidad de energía, en el cual se evaluara el comportamiento del factor de potencia de una

manera más profunda, sí se establecieron perfiles de carga eléctrica de la planta, mediante dos métodos distintos, los cuales permiten conocer las demandas máximas, las horas de más consumo y los valores promedio del factor de potencia, en un momento dado.

Uno de estos métodos se basó, en los datos reportados por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) en la facturación de cada mes, en el transcurso del presente año, de manera que se graficó el comportamiento de dichas variables en función del tiempo (lapso mensual). Estos gráficos representan las variaciones de la potencia activa (kW), la potencia reactiva (kVAr) y el factor de potencia, como un valor máximo en cada mes.

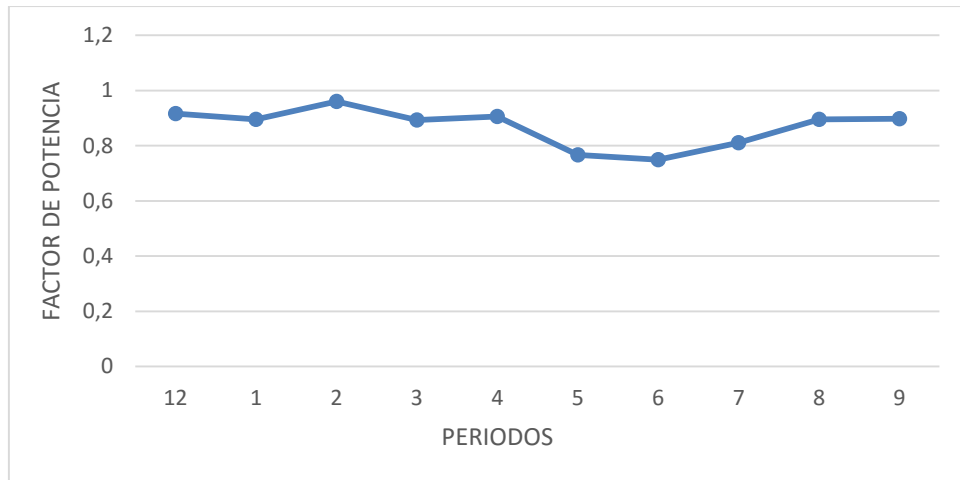
En la siguiente tabla se muestran, los valores reportados por la ESPH para la empresa COCORISA.

Tabla 16. Reporte de facturación de consumo eléctrico.

Empresa: Corrugadora de Costa Rica						
# Factura	Año	Periodo	Consumo (kWH)	Consumo (kW)	F.P.	Multa (₡)
87942548	2015	12	131 600	539,0	0,9167	-
88103883	2016	1	159 250	539,0	0,8953	23.092,32
88267285	2016	2	188 650	339,5	0,9604	-
88428062	2016	3	171 150	528,5	0,8935	31.775,80
88589567	2016	4	147 700	542,5	0,9064	-
88753031	2016	5	151 200	563,5	0,7667	798.630,15
88916081	2016	6	136 150	577,5	0,7500	942.981,36
89077515	2016	7	130 200	584,5	0,8107	553.788,30
89242201	2016	8	147 700	661,5	0,8957	27.299,13
89406041	2016	9	193 200	707,0	0,8978	15.181,82

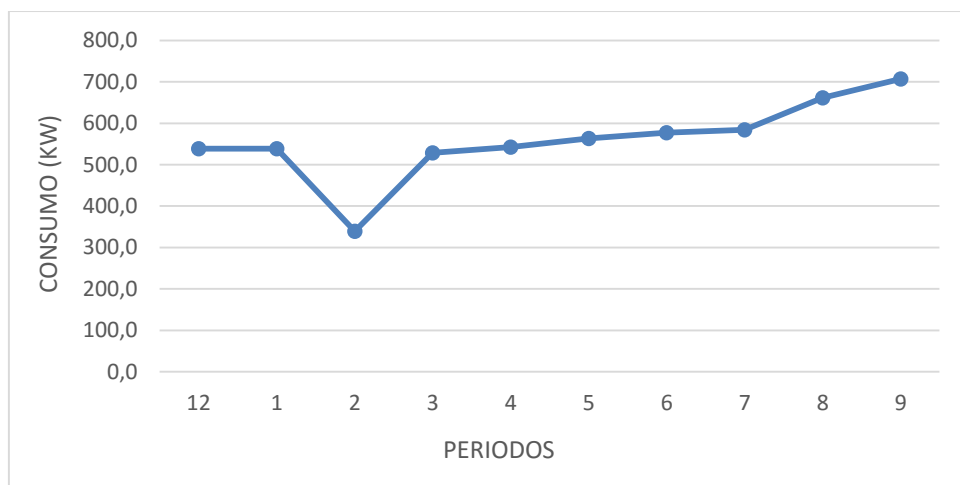
Fuente: ESPH, 2016

En los siguientes gráficos se muestra, el comportamiento de estas variables en función del tiempo, de manera que se obtiene una percepción más clara de estas variaciones.



Fuente: ESPH, 2016

Figura 16. Comportamiento del factor de potencia respecto al periodo (meses)



Fuente: ESPH, 2016

Figura 17. Comportamiento del consumo de potencia activa respecto al periodo (meses).

Tomando como referencia, los valores de consumo del mes de septiembre (demanda más alta y factor de potencia bajo), se utiliza una tabla para obtener un factor K, el cual se utiliza para determinar la compensación de potencia reactiva, necesaria en el banco de capacitores de la planta. Esta tabla posee una columna principal del “Factor de potencia antes de la compensación”, el cual representa el valor actual promedio del factor de potencia en la red, el cual es considerado el valor por compensar, mientras la fila principal del “Factor de potencia compensado” representa el valor buscado con la compensación. (Campos, 2016)

La Tabla 33. Determinación del Factor K se muestra en la sección de Anexos.

La intersección del valor actual, con el valor buscado en la tabla, representa el valor K para dicho caso, el cual debe ser multiplicado por la potencia activa del sistema, con el objetivo de calcular la cantidad de potencia reactiva en KVAR, requerida por el sistema, para llegar al valor de factor de potencia deseado.

Según la información brindada por el Departamento de Mantenimiento de COCORISA, la empresa tiene un valor de referencia de factor de potencia de 0,95, cuando es requerido realizar alguna compensación.

Los datos de facturación reportados por la ESPH para el mes de septiembre, muestran un aumento en la demanda mensual de potencia, producto del aumento de tiempos de producción de la parte de la empresa Sacos, que se ha incorporado a la red de COCORISA, por lo que se utilizan los valores eléctricos de este mes como referencia.

Se reporta una potencia activa de 707 kW y un factor de potencia de 0,8978 el cual, para efectos de este cálculo, se va a considerar como 0,89.

Para el caso de llevar el factor de potencia actual al valor de referencia de 0,95, se obtiene un factor K de 0,183.

$$kVar_{0,89} = kW * K = 707,0 * 0,183$$

$$kVar_{0,89} = 129,38 \text{ kVar}$$

Actualmente, el banco de capacitores cuenta con siete etapas:

- #1 – 4 Condensadores de 25 kVAR cada uno para un total de 100 kVAR.
- #2 – 4 Condensadores de 25 kVAR cada uno para un total de 100 kVAR.
- #3 – 3 Condensadores de 12,5 kVAR cada uno para un total de 37,5 kVAR.
- #4 – 4 Condensadores de 12,5 kVAR cada uno para un total de 50 kVAR.
- #5 – 4 Condensadores de 12,5 kVAR cada uno para un total de 50 kVAR.
- #6 – 2 Condensadores de 20 kVAR cada uno para un total de 40 kVAR.
- #7 – 4 Condensadores de 12,5 kVAR cada uno para un total de 50 kVAR.

La potencia reactiva total, para el banco de capacitores, es de 427,5 kVAr, para ser utilizados según la configuración del controlador electrónico del banco.

El inconveniente es que de las siete etapas del banco, dos de ellas se encuentran dañadas, específicamente la etapa 3 de 37,5 kVAr y la etapa 6 de 40 kVAr. La primera tiene el filtro de armónicos “abierto”, por lo que al dañarse las bobinas, los condensadores quedan desconectados, mientras la segunda tiene dañado el contactor, por lo que también se encuentran fuera de servicio.

Esto implica que hay 77,5 kVAr que no se están utilizando, los cuales pueden ser utilizados por el banco para compensar el factor de potencia, lo que indica que de los 129,38 kVAr necesarios para llegar a 0,95 se tiene en desuso 77,5 kVAr,

A pesar de que los repuestos de ambas etapas ya se encuentran en el taller, no se ha programado su reparación, por lo que las multas se continúan cobrando.

El costo promedio mensual para la empresa es de aproximadamente \$25 000,00 solamente en penalización por bajo factor de potencia. Para el cálculo de este valor, no se considera la multa de los meses mayo, junio y julio, debido a que se presentaron problemas con el banco de capacitores, que generaron multas mayores que las usuales.

Los cálculos anteriores corresponden a la compensación para llevar el factor de potencia a un valor estándar, pero considerando solamente la sección del proceso productivo de la empresa Sacos, instalada en el plantel de COCORISA, por lo que es necesario realizar una proyección de la demanda adicional y del factor de potencia, una vez que esta haya instalado toda su maquinaria, para dimensionar una nueva compensación para el banco de capacitores.

En la Fuente: ESPH, 2016

Figura 17. Comportamiento del consumo de potencia activa respecto al periodo (meses), los meses de agosto y septiembre, han presentado un aumento aproximado de 78 kW y 46 kW respectivamente, o bien, un aumento general acumulativo de casi 124 kW, valor que se puede utilizar como referencia de la demanda actual de la empresa Sacos.

Con base en la cantidad de motores que conforman la máquina que falta por incorporar a la planta de Sacos, se puede estimar un consumo de potencia de 110 kW, dato brindado por el Departamento de Mantenimiento de la empresa Sacos.

Por lo tanto, se puede proyectar un consumo total de potencia de 820 kW, por parte de las dos empresas, una vez que Sacos se haya incorporado completamente y esté funcionando a valores nominales de producción.

Asumiendo que el valor del factor de potencia pueda bajar a 0,87, en un caso extremo, y se quiera llegar al mismo valor estándar de 0,95 propuesto por el Departamento de Mantenimiento de COCORISA, se puede utilizar la Tabla 33. Determinación del Factor K, para obtener el factor de corrección, para el cálculo de la potencia reactiva.

$$kVar_{0,87} = kW * K = 820,0 * 0,238$$

$$kVar_{0,87} = 195,16 \text{ kVar}$$

Si se considera la reparación de las etapas dañadas, se pueden tomar en cuenta los 77,5 kVar que están desconectados, dejando un requerimiento de 117,66 kVar, los cuales se pueden dividir en tres etapas adicionales de 40 kVar cada una.

Esta proyección del comportamiento del factor de potencia, se debe corroborar con un estudio de calidad de energía, el cual forma parte de las recomendaciones del proyecto.

El otro método que se implementó para obtener un perfil aproximado de carga, fue mediante la toma de datos en el medidor principal de la planta, el cual se encuentra en la salida del transformador principal. En este procedimiento se tomaron datos por tres días, en lapsos de 30 minutos, de manera que se pudiera establecer un comportamiento aproximado de las potencias (activa, reactiva y aparente), del factor de potencia y del consumo de corriente en las tres líneas de la red trifásica.

A pesar de que estos datos son muy variables y dependen de muchos panoramas distintos, se logra establecer un promedio de los datos medidos, con el fin de compararlos a grandes rasgos, con los reportados por la ESPH.

En la siguiente tabla se muestran los resultados ya promediados, de las variables mencionadas anteriormente, mientras que los gráficos se muestran en la sección de Anexos, en el presente informe de proyecto.

Tabla 17. Promedio de las variables eléctricas del medidor de la empresa.

Control de Variables Eléctricas - Promedio								
Fecha:		10-11-14 / 10 / 2016						
Hora	V	MW	MVA	MVA _r	I1 (kA)	I2 (kA)	I3 (kA)	FP
7:30:00	446,30	0,364	0,365	0,017	0,443	0,464	0,417	99,865
8:00:00	446,25	0,328	0,329	0,020	0,445	0,462	0,416	99,915
8:30:00	448,13	0,483	0,485	0,039	0,643	0,660	0,603	99,725
9:00:00	449,18	0,490	0,491	0,036	0,699	0,708	0,636	99,675
9:30:00	448,58	0,486	0,494	0,080	0,663	0,683	0,617	98,780
10:00:00	447,79	0,514	0,522	0,077	0,686	0,709	0,658	98,717
10:30:00	448,76	0,471	0,474	0,034	0,642	0,654	0,619	98,997
11:00:00	447,73	0,482	0,488	0,068	0,665	0,683	0,626	98,500
11:30:00	445,71	0,512	0,519	0,068	0,689	0,718	0,663	98,360
12:00:00	448,03	0,434	0,437	0,028	0,605	0,616	0,578	99,117
12:30:00	446,75	0,495	0,507	0,128	0,726	0,755	0,7	97,37
1:00:00	449,15	0,480	0,488	0,063	0,639	0,662	0,609	97,817
1:30:00	452,02	0,431	0,433	0,035	0,579	0,613	0,554	98,723
2:00:00	449,89	0,467	0,469	0,037	0,622	0,650	0,606	98,867
2:30:00	451,93	0,424	0,428	-0,015	0,541	0,573	0,528	99,253
3:00:00	449,95	0,381	0,380	0,032	0,499	0,522	0,463	99,770
3:30:00	450,60	0,348	0,342	0,014	0,456	0,475	0,417	99,627
4:00:00	451,11	0,326	0,327	-0,017	0,424	0,451	0,396	99,633
Promedio:	448,77	0,440	0,443	0,041	0,593	0,614	0,561	99,039
NOTAS:								

Fuente: Propia

Una vez que se comparan los valores obtenidos con los valores que reporta la ESPH, se nota que los valores que reporta esta entidad son algo distintos a los que se miden en la subestación. Esto se puede deber, a que los datos reportados en la facturación de cada mes, corresponden a los valores “pico” de cada variable, por lo que se cobra factura a la máxima demanda de potencia durante todo el mes, en función de la cual, toman al mismo tiempo el dato del factor de potencia, siendo este el punto más bajo.

Otra opción es que en el momento en que la ESPH hace la medición, esta coincide con el arranque de algunas máquinas, lo cual altera las variables eléctricas, generando datos alterados, que aunque se tomen en lapsos de media hora, tampoco se van a detectar, por lo que es requerido el equipo especializado para obtener datos más exactos.

Una última opción, indicaría que el medidor de variables eléctricas en la acometida de la empresa, no se encuentra conectado correctamente o se encuentra ligeramente dañado, motivo por el cual los datos no serían del todo confiables.

Las facturas de luz y agua para la empresa COCORISA no se muestran debido a términos y políticas de privacidad del grupo Smurfit Kappa.

A pesar de que el tiempo de conexión y desconexión de fases del banco de capacitores, para compensar la caída del factor de potencia es de solamente algunos segundos, estos bastan para reportar ese valor de factor de potencia, como un valor mensual en el recibo eléctrico de la empresa, aunque la mayor cantidad de tiempo se encuentre dentro de los valores aceptables.

4.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El manejo de información detallada y estructurada, facilita la toma de decisiones, ante situaciones de rediseños, mejoras o incorporación de nuevas cargas al sistema, permitiendo conocer las demandas en cada tablero y sus condiciones de operación.

El recorrido por la planta, la observación y valoración de cada uno de los tableros y cargas, permitió apreciar un panorama más acertado, del contexto de funcionamiento del sistema eléctrico como un todo. Estas acciones permitieron identificar puntos conflictivos y de cuidado en la red, los cuales son considerados, parte de las recomendaciones establecidas en las secciones anteriores.

Con base en el levantamiento eléctrico, se establecieron dichas recomendaciones eléctricas, en función de las secciones del Código Eléctrico de Costa Rica, con el fin de aumentar la confiabilidad de los equipos y elementos de protección de la red, así como validar el cumplimiento de las normas por parte de la empresa.

El levantamiento eléctrico suministra a la empresa, información de sus alcances industriales, en función de las demandas, no solo de cada una de las cargas, sino también de los tableros que las alimentan, los factores de demanda, identificados en cada tablero, son la base para reordenar algunos circuitos, balancear las cargas en las barras de tableros trifásicos y liberar tableros que se encuentran en condiciones de sobrecarga.

Parte de proponer un reacomodo de algunas cargas, pretende corregir las secciones donde se presentan dos cargas en paralelo, protegidas por un mismo disyuntor, o bien, las cargas que se encuentran conectadas directamente a las barras de otro tablero.

Se identificaron secciones de la red eléctrica, que no cumplen con la normativa vigente en el país, permitiendo plantear las recomendaciones, para ser implementadas de manera gradual, en función de la prioridad de cada una de ellas, con el fin de mejorar el sistema eléctrico.

Manejar toda la información de los tableros permitió, diseñar tablas descriptivas para estos, estos, en las cuales se designa la ubicación, la referencia y las cargas conectadas en ellos, disminuyendo los tiempos por búsqueda y pruebas de disyuntores en una carga específica.

En la sección de Anexos se muestra la Fuente: EATON, 2016

Tabla 33. Descripción de cargas del Tablero B (Cuarto de Calderas) y la Tabla 34. Descripción del Tablero de Acabado.

El diseño del nuevo diagrama unifilar se realizó con una categoría C, en él se incorporan todos los datos necesarios para su interpretación. Este diagrama incluye adicionalmente, los modelos y capacidades de cortocircuito de los disyuntores de las cargas principales, información de vital importancia para realizar un estudio de cortocircuito y posteriormente una coordinación de protecciones, estudios que se plantean como necesarios para ser ejecutados eventualmente.

Para el análisis de factor de potencia y calidad de energía, se plantea un perfil de carga aproximado, en función de los datos obtenidos directamente del medidor principal en la subestación, mediante el cual se puede observar el comportamiento en lapsos de media hora. De las variables eléctricas de la planta, las horas de mayor consumo y el consumo de la planta en general, cuando la corrugadora no se encuentra funcionando, este último valor es considerado para el establecimiento de factores de simultaneidad y de demanda de los demás tableros, especialmente para el Tablero A.

Mediante el estudio de tierras se identificaron las condiciones de operación de la malla de tierras, referente a la capacidad instalada y a la conexión de la misma, en busca de garantizar

la seguridad del personal y la integridad de los equipos industriales y generales de la planta, entre las cuales se encuentran.

Este estudio permitió identificar varios aspectos de conexión importantes, como el hecho de que las dos mallas de tierras no se encuentran debidamente unificadas, por lo que al estar separadas por una distancia inferior a los 80 metros, estas generan interferencias que reducen su eficiencia.

Se identificó que algunas estructuras de alto nivel de peligrosidad tales como algunos tanques de bunker o la nueva instalación de gas LP, la cual incluye el tanque y los calentadores, no se encuentran aterrizados, por lo que es importante diseñar un sistema de puesta a tierra para estos elementos, antes de que entren en operación.

Los resultados de las mediciones en ambas mallas, bajo condiciones distintas, se muestran en la Tabla 18. Resultados obtenidos en el estudio de tierras.

Tabla 18. Resultados obtenidos en el estudio de tierras

Medición	Resistencia (Ω)	Condición
Malla principal despegada de la estructura	0,07	Buena
Malla principal pegada de la estructura	0,05	Buena
Malla secundaria despegada de la estructura	2,51	Buena
Malla secundaria pegada de la estructura	0,13	Buena

Fuente: Informe del estudio de puesta a tierra MM and Industries

Los manuales de mantenimiento autónomo propuestos, a pesar de estar en plan piloto para su ejecución, son parte del proceso de mejoramiento continuo que busca la empresa, la cual incluye la formación del personal que opera la maquinaria, para la ejecución de labores básicas de mantenimiento.

En COCORISA, la mayoría de los operadores ha sido capacitada, tanto para la operación de la máquina como para la detección de fallas o situaciones anómalas, a las condiciones estándares de funcionamiento.

Parte de la ideología actual comprende, reportar al Departamento de Mantenimiento, solamente las fallas consideradas como complejas, las cuales requieran de equipo y personal mejor capacitado. Con la nueva metodología, se integra la limpieza e inspección rutinaria de

elementos; esto implica cambiar la ideología de los operarios e inculcar en ellos un sentimiento de pertenencia en los equipos.

CAPÍTULO V – FINALIZACIÓN

5.1. CONCLUSIONES

- 1- La información recopilada en el levantamiento del sistema eléctrico, permitió estructurar documentos técnicos e identificar incumplimientos en la red, convertidos en una serie de recomendaciones propuestas, para ser implementadas a corto, medio o largo plazo, según sus condiciones y requerimientos.
- 2- La evaluación del estado del sistema de puesta a tierra, permitió identificar mediante un estudio, los requerimientos necesarios, para cumplir con la normativa vigente, generando recomendaciones que garanticen la seguridad y la vida del personal y de los equipos.
- 3- La proyección del factor de potencia brindó una idea, de los parámetros eléctricos requeridos por el sistema, para compensar las multas en la facturación eléctrica, mediante la incorporación de potencia reactiva adicional, al banco principal de capacitores.
- 4- Se actualizó el diagrama unifilar existente, con base en el levantamiento eléctrico realizado, al diagrama unifilar existente y a los requerimientos del CFIA, contemplando los datos necesarios, para la ejecución de próximos estudios en la red.
- 5- Se estructuran manuales de mantenimiento autónomo para las máquinas de la corrugadora, como principio fundamental de la implementación del programa de excelencia operacional, basado en un formato propuesto por el grupo Smurfit Kappa y en los procedimientos del personal del Departamento de Mantenimiento.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de calidad de energía, para profundizar en el análisis del factor de potencia, presencia de armónicos y selección de capacitores y filtros para el sistema eléctrico de la empresa COCORISA.
- Realizar un estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones, con el fin de conocer el potencial del sistema eléctrico de la planta, que permita dimensionar el EPP y al mismo tiempo validar el calibre de los conductores y la ampacidad de los disyuntores instalados.
- Establecer un sistema de control para los trabajos eléctricos, con el fin de evitar que acciones correctivas temporales se conviertan en permanentes, aumentando el riesgo de fallas y disminuyendo las malas prácticas eléctricas.
- Establecer protocolos de limpieza y reacondicionamiento de los tableros eléctricos, con el fin de aumentar el orden y mejorar su apariencia, facilitando la identificación de fallas potenciales.
- Incorporar el diagrama unifilar actualizado, al CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos), con el objetivo de darle validez civil al documento.
- Diseñar un sistema de iluminación adecuada para la subestación, debido a que la existente es muy poca y en malas condiciones.
- Implementar una bodega adicional para colocar los rollos de cable y los transformadores que no se utilizan, los cuales se ubican los pasillos de la subestación.
- Construir un techo en voladizo para las compuertas de la subestación, que evite el ingreso de agua de lluvia a la habitación.
- Unificar de manera adecuada las mallas de tierras de la empresa, para evitar que generen distorsiones una respecto a la otra.
- Identificar y separar los conductores de neutro y tierra en los tableros en los que estos se encuentren unificados, seleccionando el calibre de conductor adecuado para que funcione como tal.

CAPÍTULO VI – ANEXOS

Tabla 19. Tabla descriptiva del Tablero B (Cuarto de Calderas)

Tablero B - Cuarto de Calderas													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Ducto	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1-3-5]	TB-1	1	10,7	440	14	14	14	3x#12-XXX-1x#10	20	0,60%	3P/30A	16	Bomba de Agua - Baviera
[7-9-11]	TB-2	1	6,9	440	9	9	9	3x#12-XXX-1x#10	42	0,81%	3P/50A	16	Bomba de Bunker - Tanque Mensual
[13-15-17]	TB-3	-	0,0	440	-	-	-	-	-	-	3P/50A	-	Disyuntor LIBRE
[19-21-23]	TB-4	-	0,0	440	-	-	-	-	-	-	3P/15A	-	Disyuntor LIBRE
[25-27-29]	TB-5	-	0,0	440	-	-	-	-	-	-	3P/15A	-	Disyuntor LIBRE
[31-33-35]	TB-6	1	4,6	440	6	6	6	3x#12-XXX-1x#12	12	0,15%	3P/25A	16	Bombas de agua 1 y 2
[37-39-41]	TB-7	1	5,3	440	7	7	7	3x#12-1x#12-XXX	18	0,27%	3P/30A	16	Resistencia #2 - Caldera #1 - 3kW
[2-4-6]	TB-8	1	5,3	440	7	7	7	3x#12-1x#12-XXX	24	0,36%	3P/20A	16	Resistencia Caldera #2 - 3kW
[8-10-12]	TB-9	1	20,6	440	27	27	27	3x#8-XXX-1x#8	17	0,41%	3P/50A	21	Abanico Caldera #1
[14]	TB-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[16-18]	TB-11	1	3,1	440	7	7	-	2x#12-1x#12-XXX	4	0,08%	2P/20A	16	Control Bombas de Bunker
[20-22-24]	TB-12	1	1,5	440	2	2	2	3x#12-XXX-1x#10	28	0,12%	3P/30A	16	Bombas de Bunker - Tanque Diario
[26-28-30]	TB-13	1	20,6	440	27	27	27	3x#8-XXX-1x#8	24	0,56%	3P/70A	21	Abanico Caldera #2
[32-34-36]	TB-14	1	5,3	440	7	7	7	3x#12-1x#12-XXX	18	0,27%	3P/20A	16	Resistencia #1 - Caldera #1 - 3kW
[38-40-42]	TB-15	-	0,0	440	-	-	-	-	-	-	2P/30A	-	Disyuntor LIBRE
TOTALES			67,1		90,4	90,4	84,8						
Condiciones de operación										Descripción del tablero			
Carga Instalada Total			83,9	kVA						Trifásico:		Cutler-Hammer (V), 3Ø, 4h	
Demanda Máxima Total			58,0	kVA						Capacidad de las barras:		125 (A)	
Factor de demanda			69,10%							Número de campos simples:		42	
Corriente de Carga Instalada Total			300	A						Protector del tablero:		300 (A), (3P)	
Corriente de Demanda Máxima Total			90,4	A						Dist. del protector al tablero:		13 (m)	
Factor de utilización del tablero			30,13%							Caída de voltaje alimentador:		0,92% (%)	
Características Alimentador - Tablero													
(L1, L2 y L3)	3 x THHN #	250	MCM					NOTA: Factor de carga de 80%.					
(N)	1 x THHN #	-											
(T)	1 x THHN #	2	AWG										
	Canasta	300	(mm)										

Fuente: Propia

Tabla 20. Tabla descriptiva del Tablero A-1 (Triturado)

Tablero A-1 - TA-1													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Canasta	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1-3-5]	TA-1-1	1	49,5	440	65	65	65	3x#2-XXX-1x#8	34	0,56%	3P/100A	300	Picadora
[7-9-11]	TA-1-2	1	25,9	440	34	34	34	3x#6-XXX-1x#8	30	0,57%	3P/100A	35 EMT	Succionador Saturno
[13-15-17]	TA-1-3	1	25,9	440	34	34	34	3x#6-XXX-1x#8	28	0,53%	3P/50A	300	Succionador Picadora
[19-21-23]	TA-1-4	1	10,7	440	14	14	14	3x#6-XXX-1x#8	16	0,12%	3P/50A	300	Banco de Pruebas Taller Mto
[8-10-12]	TA-1-5	1	39,6	440	52	52	52	3x#6-XXX-1x#8	32	0,92%	3P/60A	35 EMT	Succionador Seco
[2-4-6]	TA-1-6	1	39,6	440	52	52	52	3x#6-XXX-1x#8	29	0,84%	3P/100A	300	Embaladora
TOTALES			133,9		175,7	175,7	175,7						
Condiciones de operación								Descripción del tablero					
Carga Instalada Total			191,3	kVA					Trifásico:		Cutler-Hammer		(V), 3ø, 4h
Demanda Máxima Total			133,9	kVA					Capacidad de las barras:		400		(A)
Factor de demanda			70,00%						Número de campos simples:		42		
Corriente de Carga Instalada Total			225	A					Protector del tablero:		225		(A), (3P)
Corriente de Demanda Máxima Total			175,7	A					Dist. del protector al tablero:		71		(m)
Factor de utilización del tablero			78,09%						Caída de voltaje alimentador:		1,91%		(%)
Características Alimentador - Tablero								NOTA: Los conductores de los succionadores van por el mismo ducto de 35mm.					
(L1, L2 y L3)	3 x THHN #	350	MCM					NOTA: Factor de carga de 70%.					
(N)	1 x THHN #	-											
(T)	1 x THHN #	2	AWG										
	Canasta	300	(mm)										

Fuente: Propia

Tabla 21. Tabla descriptiva del Tablero E (Cocina de goma)

Tablero E - Cocina de Goma													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Canasta	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1]	TE-1	1	39,6	440	52	52	52	3x#10 TSJ	19	1,26%	3P/250A	200	Mezclador de Goma
[2]	TE-2	1	1,6	440	2,1	2,1	2,1	2x#6-XXX-1x#12	30	0,03%	3P/125A	200	Agitador de Goma
[3]	TE-3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[4]	TE-4	1	39,6	440	52	52	52	2x#6-XXX-1x#12	13	0,38%	3P/70A	200	Succionador AGNATI
[5]	TE-5	1	5,8	440	7,6	7,6	7,6	2x#6-XXX-1x#12	24	0,10%	3P/50A	200	Dosificador de Goma
TOTALES			60,7		79,59	79,59	79,59						
Condiciones de operación					Descripción del tablero								
Carga Instalada Total			86,7	kVA				Trifásico:		Siemens S5	(V), 3Ø, 4h		
Demanda Máxima Total			60,7	kVA				Capacidad de las barras:		800	(A)		
Factor de demanda			70,00%					Número de campos simples:		-			
Corriente de Carga Instalada Total			400	A				Protector del tablero:		400	(A), (3P)		
Corriente de Demanda Máxima Total			79,59	A				Dist. del protector al tablero:		85	(m)		
Factor de utilización del tablero			19,90%					Caída de voltaje alimentador:		1,53%	(%)		
Características Alimentador - Tablero					NOTA: Se asume un factor de potencia de 0,8 para las cargas trifásicas.								
(L1, L2 y L3)		6 x THHN #	350	MCM	NOTA: Factor de carga de 70%.								
(N)		1 x THHN #	-										
(T)		1 x THHN #	2	AWG									
		Canasta	200	(mm)									

Fuente: Propia

Tabla 22. Tabla descriptiva del Tablero de Pruebas

Tablero de Pruebas - TF3-15													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Ducto	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	L	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1]	TF-3-16-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[3]	TF-3-16-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[5]	TF-3-16-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[7]	TF-3-16-4	1	0,3	110	2,7	-	-	1x#10-1x#12-XXX	2	0,04%	1P/20A	16	Tomacorriente 110v
[9-11]	TF-3-16-5	1	10	220	-	45,5	45,5	2x#10-1x#12-XXX	2	0,32%	2P/50A	16	Tomacorriente 220v
[13-15-17]	TF-3-16-6	1	8,4	220	22,0	22,0	22,0	4x#12 TSJ	12	0,67%	3P/40A	-	Salida de Pruebas #1 - 7,5 HP
[19]	TF-3-16-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[21]	TF-3-16-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[23]	TF-3-16-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[2]	TF-3-16-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[4]	TF-3-16-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[6]	TF-3-16-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[8]	TF-3-16-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[10]	TF-3-16-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[12]	TF-3-16-15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[14-16-18]	TF-3-16-16	1	10,7	220	28,0	28,0	28,0	4x#6 TSJ	12	0,37%	3P/30A	-	Salida de Pruebas #2 - 10 HP
[20]	TF-3-16-17	1	0,4	110	3,6	-	-	1x#10-1x#12-XXX	10	0,26%	3P/20A	16	Iluminación Provisional
[22]	TF-3-16-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
[24]	TF-3-16-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
TOTALES			17,1		45,1	58,8	58,8						
Condiciones de operación										Descripción del tablero			
Carga Instalada Total			29,8	kVA						Trifásico: Cutler-Hammer (V), 3Ø, 4h			
Demanda Máxima Total			19,4	kVA						Capacidad de las barras: 125 (A)			
Factor de demanda			65,21%							Número de campos simples: 24			
Corriente de Carga Instalada Total			100	A						Protector del tablero: 100 (A), (3P)			
Corriente de Demanda Máxima Total			45,1	A						Dist del protector al tablero: 47 (m)			
Factor de utilización del tablero			45,09%							Caída de voltaje alimentador: 2,23% (%)			
Características del alimentador - Tablero										NOTA: Se asume un factor de potencia de 0,8 para las cargas trifásicas.			
(L1, L2 y L3)	3 x THHN #	4	AWG						NOTA: Se utilizan las 2 salidas simultáneas o 1 salida simultánea con el tomacorriente 220v				
(N)	1 x THHN #	4	AWG						NOTA: Factor de carga de 80%.				
(T)	1 x THHN #	-											
	Canasta	300	(mm)										

Fuente: Propia

Tabla 23. Tabla descriptiva del Tablero Oficinas #1 - Piso Superior

Tablero Oficinas #1 - Piso Superior TA-9-3-OFS												
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente		Calibre(L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Ducto	Descripción
					L1	L2						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1-3]	OFS-1	1	2,2	220	9,8	9,8	2x#12-1x#12-XXX	19	1,12%	2P/30A	16	A/C Oficinas #1
[5]	OFS-2	5	0,9	110	6,5	-	1x#10-1x#12-XXX	12	0,56%	1P/20A	16	Tomacorrientes Sector Central
[7]	OFS-3	5	0,9	110	-	6,5	1x#10-1x#12-XXX	14	0,65%	1P/20A	16	Tomacorrientes Sector Este
[9]	OFS-4	5	0,9	110	6,5	-	1x#10-1x#12-XXX	20	0,93%	1P/20A	16	Tomacorrientes Sector Oeste
[11]	OFS-5	10	1	110	-	9,1	1x#12-1x#12-XXX	20	2,18%	1P/20A	16	Iluminación Sala de Exposición
[2-4]	OFS-6	1	2,2	220	9,8	9,8	2x#10-1x#12-XXX	15	0,52%	2P/30A	16	A/C Oficinas #2
[6]	OFS-7	6	0,9	110	8,2	-	1x#12-1x#12-XXX	16	1,57%	1P/20A	16	Iluminación Sector Central
[8]	OFS-8	6	0,9	110	-	8,2	1x#12-1x#12-XXX	13	1,28%	1P/20A	16	Iluminación Sector Este
[10]	OFS-9	6	0,9	110	8,2	-	1x#12-1x#12-XXX	14	1,37%	1P/20A	16	Iluminación Sector Oeste
[12]	OFS-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LIBRE
TOTALES			6,4		29,4	26,1						
Condiciones de operación								Descripción del tablero				
Carga Instalada Total			10,7	kVA				Monofásico:	Cutler-Hammer	(V), 1Ø, 3h		
Demanda Máxima Total			10,7	kVA				Capacidad de las barras:	125	(A)		
Factor de demanda			100,00%					Número de campos simples:	12			
Corriente de Carga Instalada Total			125	A				Protector del tablero:	125	(A), (2P)		
Corriente de Demanda Máxima Total			29,4	A				Dist. del protector al tablero:	25	(m)		
Factor de utilización del tablero			23,55%					Caída de voltaje alimentador:	2,62%	(%)		
Características Alimentador - Tablero								NOTA: Factor de carga de 60%.				
(L1 y L2)	2 x THHN #	2	AWG									
(N)	1 x THHN #	4	AWG									
(T)	1 x THHN #	-										
	Canasta	300	(mm)									

Fuente: Propia

Tabla 24. Tabla descriptiva del Tablero A

Tablero A - Impresión													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Canasta	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1]	TA-1	1	133,9	440	175,7	175,7	175,7	3x350-XXX-1x#2	71	1,91%	3P/225A	300	Tablero A-1
[2]	TA-2	1	16,0	440	21	21	21	3x#6-XXX-1x#6	60	0,70%	3P/100A	300	Succionador Ward
[3]	TA-3	1	49,5	440	65	65	65	3x#2/0-XXX-1x#2	60	0,57%	3P/225A	300	Impresora Titan
[4]	TA-4	1	49,5	440	65	65	65	3x#2/0-XXX-1x#2	78	0,74%	3P/225A	300	Impresora Saturno
[5]	TA-5	1	0,0	440	0	0	0	3x#6-XXX-1x#6	52	0,00%	3P/100A	300	Stacker Ward
[6]	TA-6	1	16,0	440	21	21	21	3x#6-XXX-1x#6	30	0,35%	3P/100A	300	Succionador Hycorr
[7]	TA-7	1	24,4	440	32	32	32	3x#2/0-XXX-1x#2	55	0,26%	3P/600A	300	Impresora Ward
[8]	TA-8	1	48,8	440	64	64	64	3x#1/0-XXX-1x#2	50	0,53%	3P/175A	300	Impresora Hycorr
[9]	TA-9	1	135,7	440	305,0	271,2	242,5	3x#250-XXX-1x#2/0	63	8,77%	3P/350A	600	Tablero A-2
[10]	TA-10	1	26,7	440	35	35	35	3x#2/0-XXX-1x#2	38	0,19%	3P/100A	300	Impresora Seco
[11]	TA-11	1	22,9	440	30	30	30	3x#4-XXX-1x#8	42	0,46%	3P/100A	300	Puente de Cuadrage Seco
TOTALES			412,5		668,3	634,5	605,8						
Condiciones de operación								Descripción del tablero					
Carga Instalada Total			523,3	kVA					Trifásico:		EATON PRL-4	(V), 3Ø, 4h	
Demanda Máxima Total			412,5	kVA					Capacidad de las barras:		1000	(A)	
Factor de demanda			78,83%						Número de campos simples:		42		
Corriente de Carga Instalada Total			1000	A					Protector del tablero:		1000	(A), (3P)	
Corriente de Demanda Máxima Total			668,33	A					Dist. del protector al tablero:		68	(m)	
Factor de utilización del tablero			66,83%						Caída de voltaje alimentador:		10,22%	(%)	
Características Alimentador - Tablero								NOTA: Factor de carga de 70%.					
(L1, L2 y L3)	9 x THHN #	250	MCM										
(N)	1 x THHN #	-											
(T)	1 x THHN #	2	AWG										
	Canasta	300	(mm)										

Fuente: Propia

Tabla 25. Tabla descriptiva del Tablero F

Tablero F - Secado													
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente			Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Canasta	Descripción
					L1	L2	L3						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1]	TF-1	2	144,8	440	190	190	190	3x#1/0-XXX-1x#2	18	0,57%	3P/500A	200	Panel Drive
[2]	TF-2	1	15,2	440	20	20	20	4x#6 TSJ	40	0,44%	3P/150A	200	Doble Engomadora
[3]	TF-3	1	19,7	440	56,1	63,4	61,9	4x#4 TSJ	30	2,23%	3P/80A	200	Transformador #3 (M)
[4]	TF-4	1	7,6	440	10	10	10	3x#2-XXX-1x#12	31	0,08%	3P/20A	200	Mesa de Freno
[5]	TF-5	1	7,6	440	10	10	10	3x#12 TSJ	32	0,68%	3P/20A	200	Triple Calentador
TOTALES			159,9		240,1	247,4	245,9						
Condiciones de operación										Descripción del tablero			
Carga Instalada Total			195,0	kVA						Trifásico:	Siemens S5	(V), 3Ø, 4h	
Demanda Máxima Total			180,8	kVA						Capacidad de las barras:	800	(A)	
Factor de demanda			92,73%							Número de campos simples:	-		
Corriente de Carga Instalada Total			600	A						Protector del tablero:	600	(A), (3P)	
Corriente de Demanda Máxima Total			240,1	A						Dist del protector al tablero:	90	(m)	
Factor de utilización del tablero			40,01%							Caída de voltaje alimentador:	3,29%	(%)	
Características Alimentador - Tablero										NOTA: Los conductores se distribuyen mediante canaletas abiertas.			
(L1, L2 y L3)	6 x THHN #	250	MCM						NOTA: Se asume un factor de potencia de 0,8 para las cargas trifásicas.				
(N)	1 x THHN #	-							NOTA: Factor de simultaneidad de 80%.				
(T)	1 x THHN #	2	AWG										
	Canasta	600	(mm)										

Fuente: Propia

Tabla 26. Tabla descriptiva del Tablero Fotopolímeros Monofásico

Tablero Fotopolimeros - TA-9-3-TFM												
Circuito	Referencia	Salidas	Potencia	Voltaje	Corriente		Calibre (L-N-T)	Longitud	Caída V.	Protección	Ducto	Descripción
					L1	L2						
Tablero	Tablero	(n)	(KVA)	(V)	(A)	(A)	n THHN	(m)	%	Pol / A	mm ø	
[1]	TFM-1	5	0,9	110	6,5	-	1x#12-1x#12-1x#12	16	1,26%	1P/20A	16	Tomacorrientes Of. Fotopolimeros
[3]	TFM-2	6	0,9	110	-	8,2	1x#12-1x#12-1x#12	19	1,87%	1P/20A	16	Iluminación Of. Fotopolimeros
[5]	TFM-3	3	0,54	110	4,9	-	1x#12-1x#12-1x#12	6	0,35%	1P/20A	16	Tomacorrientes Servidores
[7]	TFM-4	4	0,6	110	-	5,5	1x#12-1x#12-1x#12	5	0,33%	1P/20A	16	Iluminación Servidores
[9-11]	TFM-5	1	2,2	220	9,8	9,8	2x#12-1x#12-1x#12	4	0,23%	2P/20A	16	A/C Servidores
[2-4]	TFM-6	1	1	220	4,5	4,5	2x#12-1x#12-1x#12	1	0,03%	2P/15A	16	Supresor de trasientes
[6-8]	TFM-7	1	5,92	220	24,3	25,6	2x#8-1x#8-XXX	40	3,95%	2P/70A	21	Tablero Oficinas Despacho
[10]	TFM-8	3	0,45	110	4,1	-	1x#10-1x#12-1x#12	15	0,44%	1P/20A	16	Iluminación Enfermería
[12]	TFM-9	5	0,9	110	-	6,5	1x#8-1x#12-1x#12	18	0,55%	1P/20A	16	Tomacorrientes Enfermería
TOTALES			11,128		45,2	49,8						
Condiciones de operación							Descripción del tablero					
Carga Instalada Total			13,36	kVA			Monofásico:	Cutler-Hammer	(V), 1Ø, 3h			
Demanda Máxima Total			10,985	kVA			Capacidad de las barras:	125	(A)			
Factor de demanda			82,22%				Número de campos simples:	12				
Corriente de Carga Instalada Total			100	A			Protector del tablero:	100	(A), (2P)			
Corriente de Demanda Máxima Total			45,2	A			Dist. del protector al tablero:	37	(m)			
Factor de utilización del tablero			45,20%				Caída de voltaje alimentador:	4,96%	(%)			
Características Alimentador - Tablero							NOTA: Factor de carga de 70%.					
(L1 y L2)	2 x THHN #	2	AWG									
(N)	1 x THHN #	4	AWG									
(T)	1 x THHN #	8	AWG									
	Canasta	300	(mm)									

Fuente: Propia

Tabla 27. Corriente en plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Table 430.250 Full-Load Current, Three-Phase Alternating-Current Motors

The following values of full-load currents are typical for motors running at speeds usual for belted motors and motors with normal torque characteristics.

The voltages listed are rated motor voltages. The currents listed shall be permitted for system voltage ranges of 110 to 120, 220 to 240, 440 to 480, and 550 to 600 volts.

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1 1/2	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7 1/2	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*For 90 and 80 percent power factor, the figures shall be multiplied by 1.1 and 1.25, respectively.

Fuente: (NEC, 2008)

Tabla 28. Factores de corriente para la selección de protecciones

Table 430.52 Maximum Rating or Setting of Motor Branch-Circuit Short-Circuit and Ground-Fault Protective Devices

Type of Motor	Percentage of Full-Load Current			
	Nontime Delay Fuse ¹	Dual Element (Time-Delay) Fuse ¹	Instantaneous Trip Breaker	Inverse Time Breaker ²
Single-phase motors	300	175	800	250
AC polyphase motors other than wound-rotor	300	175	800	250
Squirrel cage — other than Design B energy-efficient	300	175	800	250
Design B energy-efficient	300	175	1100	250
Synchronous ³	300	175	800	250
Wound rotor	150	150	800	150
Direct current (constant voltage)	150	150	250	150

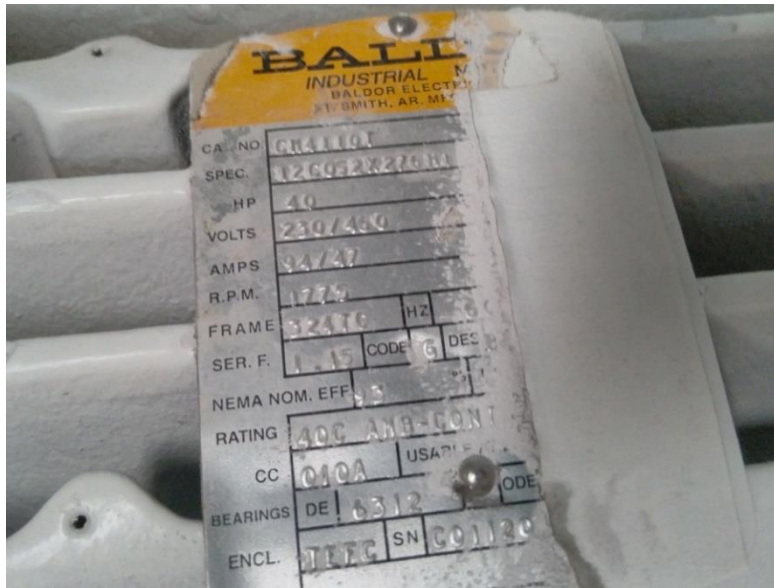
Fuente: (NEC, 2008)

Tabla 29. Ampacidad de los calibres a distintas temperaturas

Table 310.16 Allowable Ampacities of Insulated Conductors Rated 0 Through 2000 Volts, 60°C Through 90°C (140°F Through 194°F), Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried), Based on Ambient Temperature of 30°C (86°F)

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.13(A).]						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM			
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

Fuente: (NEC, 2008)



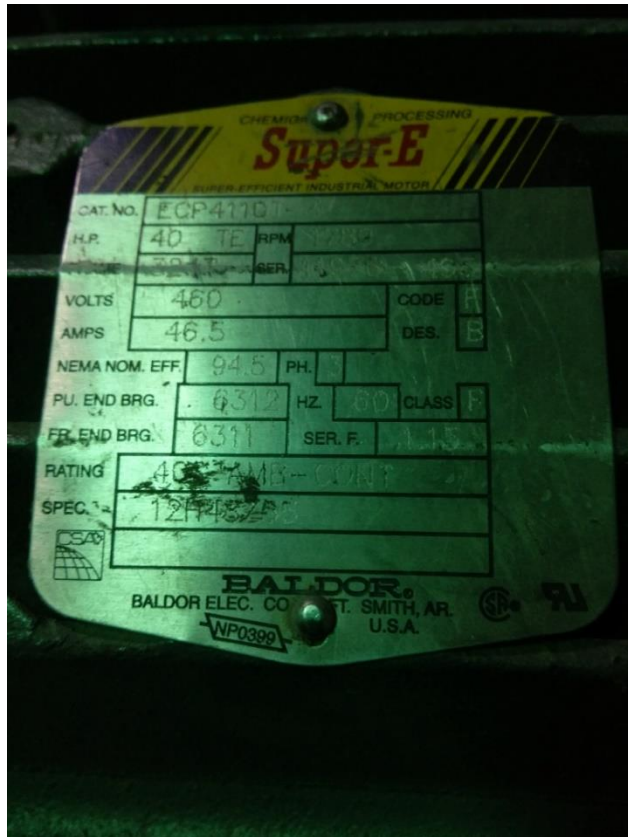
Fuente: Propia

Figura 18. Placa del Mezclador (Cocina de Goma)



Fuente: Propia

Figura 19. Placa del Agitador (Cocina de Goma)



Fuente: Propia

Figura 20. Placa del Succionador AGNATI (Cocina de Goma)



Fuente: Propia

Figura 21. Placa del Dosificador (Cocina de Goma)

Tabla 30. Resistencia y reactancia de los conductores

Table 9 Alternating-Current Resistance and Reactance for 600-Volt Cables, 3-Phase, 60 Hz, 75°C (167°F) — Three Single Conductors in Conduit

Size (AWG or kcmil)	Ohms to Neutral per Kilometer Ohms to Neutral per 1000 Feet															Size (AWG or kcmil)
	X_L (Reactance) for All Wires		Alternating-Current Resistance for Uncoated Copper Wires			Alternating-Current Resistance for Aluminum Wires			Effective Z at 0.85 PF for Uncoated Copper Wires			Effective Z at 0.85 PF for Aluminum Wires				
	PVC, Aluminum Conduits	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	— —	— —	— —	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	— —	— —	— —	14	
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12	
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10	
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8	
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6	
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4	
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3	
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2	
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1	
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0	
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0	
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0	
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0	
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250	
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300	
350	0.131 0.040	0.164 0.050	0.125 0.038	0.141 0.043	0.128 0.039	0.200 0.061	0.217 0.066	0.207 0.063	0.174 0.053	0.190 0.058	0.197 0.060	0.240 0.073	0.253 0.077	0.262 0.080	350	
400	0.131 0.040	0.161 0.049	0.108 0.033	0.125 0.038	0.115 0.035	0.177 0.054	0.194 0.059	0.180 0.055	0.161 0.049	0.174 0.053	0.184 0.056	0.217 0.066	0.233 0.071	0.240 0.073	400	

Fuente: (NEC, 2008)



Fuente: Propia

Figura 22. Tablero TA-9-3 (Abierto)



Fuente: Propia

Figura 23. Circuitos ramales en paralelo en el Tablero TA-9-3

Tabla 31. Formato del manual de mantenimiento autónomo para la cortadora master

Mantenimiento Autónomo											
Cortadora Master MST	Versión 2016	Fecha	Simbología	Lubricación	Ajuste	Inspección	Limpeza	Control Visual	Engraze	Pruebas de Seguridad	COCORISA
N°	Vista Máquina	Sección	Procedimiento	Método	Consideraciones	Frecuencia	Duración	Personal	En caliente	Observaciones	Vista General
Inspección General											
1		Protecciones y disp. de seguridad	Comprobación de eficiencia		Tensiones y presiones existentes.	Diaria	10 min.	1	NO		
2		Dispositivos de información	Comprobación de eficiencia		Control de dispositivos de protección.	Diaria	10 min.	1	NO		
Limpeza General											
1		General	Eliminar residuos del proceso.		-	Diaria	10 min.	1	NO		
2		General	Remover el polvo.		-	Semanal	10 min.	1	NO		
Sistemas de Protección											
1		Rejas de protección.	Verificar estado y ajuste de las rejas.		Utilizar equipo de protección personal.	Trimestral	10 min.	2	NO		
2		Interruptor de las puertas de protección.	Verificar estado y funcionamiento.		Utilizar equipo de protección personal.	Trimestral	10 min.	2	NO		
Lubricación General											
1		Cuchillas	Puntos 1		Lubricación (L2) Picoil Zen ISO 80	Mensual	10 min.	1	NO	Rellenar con 1,9 L de aceite.	
2		Soporte de cilindros motorizados.	Puntos 2		Engraze (G1) MONOGEAR ISO 150 NOTA (1)	Trimestral	10 min.	1	NO		
Sistema Neumático General											
1		Filtro de válvula principal	Remover residuos y suciedad.		-	Semestral	10 min.	1	NO		
2		Filtro de válvula principal	Regular presión de trabajo a 6,5 bar.		Presostato para el control del nivel de presión de alarma = 5,5 bar.	Diaria	10 min.	1	NO		


Fuente: Propia

Tabla 32. Determinación del Factor K

Fp Actual	Fp deseado																				
	0.8	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89										0.000	0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93														0.000	0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95																0.000	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251
0.98																			0.000	0.060	0.203
0.99																				0.000	0.143
																					0.000


Fuente: EATON, 2016

Tabla 33. Descripción de cargas del Tablero B (Cuarto de Calderas)

 TABLERO B			
TB			
CIRCUITO		3 FASES / 480v	
Ubicación	Referencia	DESCRIPCIÓN	PROTECCIÓN
[1-3-5]	TB-1	Bomba de Agua - Baviera	3P/30A
[7-9-11]	TB-2	Bomba de Bunker - Tanque Mensual	3P/50A
[13-15-17]	TB-3		3P/50A
[19-21-23]	TB-4		3P/15A
[25-27-29]	TB-5		3P/15A
[31-33-35]	TB-6	Bombas de agua 1 y 2	3P/25A
[37-39-41]	TB-7	Resistencia #2 - Caldera #1 - 3kW	3P/30A
[2-4-6]	TB-8	Resistencia Caldera #2 - 3kW	3P/20A
[8-10-12]	TB-9	Abanico Caldera #1	3P/50A
[14]	TB-10		
[16-18]	TB-11	Control Bombas de Bunker	2P/20A
[20-22-24]	TB-12	Bombas de Bunker - Tanque Diario	3P/30A
[26-28-30]	TB-13	Abanico Caldera #2	3P/70A
[32-34-36]	TB-14	Resistencia #1 - Caldera #1 - 3kW	3P/20A
[38-40-42]	TB-15		2P/30A
NOTAS:			

Fuente: Propia

Tabla 34. Descripción del Tablero de Acabado

 TABLERO ACABADO			
TA-9-3-TAT			
CIRCUITO		3 FASES / 220v	
Ubicación	Referencia	DESCRIPCIÓN	PROTECCIÓN
[1-3-5]	TAT-1	Engomadora EMBA #1	3P/25A
[7-9-11]	TAT-2	Cortadora EMBA #1	3P/25A
[13]	TAT-3		
[15]	TAT-4		
[17]	TAT-5		
[19-21-23]	TAT-6	Engomadora MIRUNA	3P/35A
[25-27]	TAT-7	Iluminación Pasillo Impresora SECO	2P/20A
[29-31]	TAT-8	Iluminación Material EMBA	2P/20A
[33]	TAT-9		
[35]	TAT-10		
[37]	TAT-11		
[39]	TAT-12		
[41]	TAT-13		
[2]	TAT-14		
[4-6]	TAT-15	Iluminación Acabado	2P/20A
[8-10-12]	TAT-16	Tablero Vacío	3P/40A
[14]	TAT-17		
[16]	TAT-18		
[18]	TAT-19		
[20]	TAT-20		
[22]	TAT-21	Tomacorrientes 110v	1P/20A
[24]	TAT-22		
[26-28-30]	TAT-23	Cortadora EMBA #2	3P/20A
[32]	TAT-24		
[34]	TAT-25	Tomacorrientes 110v	1P/20A
[36-38]	TAT-26	Tomacorriente 220v	2P/50A
[40]	TAT-27	Tomacorrientes 110v	1P/20A
[42]	TAT-28		
NOTAS:			

Fuente: Propia



Mundo Eléctrico MGS, S.A.

Lagunilla de Heredia

Teléfonos: 2262-5050 / 2238-2966 / 2263-6061

Fax: 2237-4667

Correo Electrónico: jainner.obregon@mundoelectricocr.com

Fecha

28/09/2016

Factura Proforma No. 84431

Vigencia: 8 Días

Señores **0550 - CORRUGADORA DE COSTA RICA S.A. - COCORISA-**

Agente de Ventas **Jainer Obregón Cascante**

Estimado Señor:

Aprovecho la oportunidad para saludarlo y, a la vez, adjuntar la cotización sobre el equipo solicitado.

Lin	Cant	Código	Descripción	Precio Unitario	Descuento	TOTAL
1	378.00	0114023700	Cable THHN # 250 MCM	14,217.00	23.00	4,138,000.02
2	762.00	0114024100	Cable THHN # 4/0 AWG	7,802.00	23.00	4,577,745.48
3	63.00	0114023800	Cable THHN # 3/0 AWG	7,909.00	23.00	383,665.59
4	979.00	0114023500	Cable THHN # 2/0 AWG	6,321.00	23.00	4,764,959.43
5	461.00	0114023100	Cable THHN # 10 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	340.00	23.00	120,689.80
6	489.00	0114023400	Cable THHN # 2 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	2,270.00	23.00	854,723.10
7	148.00	0114024000	Cable THHN # 4 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	1,340.00	23.00	152,706.40
8	192.00	0114024400	Cable THHN # 6 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	890.00	23.00	131,577.60
9	329.00	0114024600	Cable THHN # 8 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	536.00	23.00	135,784.88
10	120.00	0114023100	Cable THHN # 10 AWG CONDUCCEN PHELPS DODGE	340.00	23.00	31,416.00

Esperamos que esta oferta se ajuste a sus necesidades. Quedamos a disposición para cualquier consulta adicional. No dude en llamarnos.

Atentamente

Jainer Obregón Cascante

Favor hacer cheque a nombre de MUNDO ELECTRICO MGS S.A.

Sub-Total	₡ 19,858,790.00
Descuento	₡ 4,567,521.70
Impuesto	₡ 1,987,864.87
TOTAL	₡ 17,279,133.17

Fuente: Mundo Eléctrico

Figura 24. Cotización de conductores - Mundo Eléctrico



Mundo Eléctrico MGS, S.A.

Lagunilla de Heredia

Teléfonos: 2262-5050 / 2238-2966 / 2263-6061

Fax: 2237-4667

Correo Electrónico: jainner.obregon@mundoelectricocr.com

Fecha

28/09/2016

Factura Proforma No. 84432

Vigencia: 8 Días

Señores

0550 - CORRUGADORA DE COSTA RICA S.A. - COCORISA-

Agente de Ventas

Jainer Obregón Cascante

Estimado Señor:

Aprovecho la oportunidad para saludarlo y, a la vez, adjuntar la cotización sobre el equipo solicitado.

Lin	Cant	Código	Descripción	Precio Unitario	Descuento	TOTAL
1	1.00	0104043000	Breaker CH BAB 380 3P 80A 240V	55,231.00	25.00	41,423.25
2	1.00	0104005600	Breaker CH BAB 130 1P 30A 240V	12,522.00	25.00	9,391.50
3	1.00	0104040000	Breaker CH CCV3100 3P 100A 240V 10KA	211,650.00	25.00	158,737.50
4	1.00	0104006200	Breaker CH CCV3125 3P 125A 240V 10KA	211,650.00	25.00	158,737.50
5	1.00	0104006300	Breaker CH CCV3150 3P 150A 240V 10KA	211,650.00	25.00	158,737.50
6	1.00	014040800	Breaker CH CCV3175 3P 175A 240V 10KA	249,061.00	25.00	186,795.75
7	1.00	0104002500	Breaker CH 120 1P 20A	8,312.00	25.00	6,234.00
8	1.00	0104003500	Breaker CH 220 2P 20A	17,326.00	25.00	12,994.50
9	2.00	0104003700	Breaker CH 230 2P 30A	19,277.00	25.00	28,915.50
10	3.00	0104004800	Breaker CH 330 3P 30A	58,893.00	25.00	132,509.25
11	2.00	0104003800	Breaker CH 240 2P 40A	23,841.00	25.00	35,761.50
12	2.00	0104004900	Breaker CH 340 3P 40A	58,893.00	25.00	88,339.50
13	5.00	0104004000	Breaker CH 250 2P 50A	25,055.00	25.00	93,956.25
14	1.00	0104005100	Breaker CH 360 3P 60A	59,367.00	25.00	44,525.25
15	2.00	0104004200	Breaker CH 270 2P 70A	25,310.00	25.00	37,965.00
16	1.00	0104005200	Breaker CH 370 3P 70A	84,582.00	25.00	63,436.50
17	1.00	0104022100	Breaker CH 280 2P 80A	53,965.00	25.00	40,473.75
18	4.00	0104041400	Breaker CH FD3150L 3P 150A 240V 65KA /480V 35KA/600V 18KA	443,132.00	25.00	1,329,396.00
19	1.00	0104045700	Breaker CH FI 2040L 2P 40A 240V 25KA /480V 14KA	162,507.00	25.00	121,880.25
20	1.00	0104034200	Breaker CH FI 3070L 3P 70A 240V 25KA /480V 14KA	223,494.00	25.00	167,620.50
21	1.00	0104038800	Breaker CH FI 3150L 3P 150A 240V 25KA /480V 14KA	385,315.00	25.00	288,986.25
22	1.00	0104041400	Breaker CH FD3150L 3P 150A 240V 65KA /480V 35KA/600V 18KA	443,132.00	25.00	332,349.00

Esperamos que esta oferta se ajuste a sus necesidades. Quedamos a disposición para cualquier consulta adicional. No dude en llamarnos.

Atentamente

Jainer Obregón Cascante

Favor hacer cheque a nombre de MUNDO ELECTRICO MGS S.A.

Sub-Total	¢ 4,718,888.00
Descuento	¢ 1,179,722.00
Impuesto	¢ 460,091.60
TOTAL	¢ 3,999,257.60

Fuente: Mundo Eléctrico

Figura 25. Cotización de disyuntores - Mundo Eléctrico



Oferta de Servicios

Oferta #TR714S - Agosto 2016-V1

Detalle de la Oferta:

- **Inspección y medición de Mallas de Tierras y puestas a tierra en la planta de Cocorisa Lagunilla del Barreal de Heredia.**

Preparada para:

Ing. Josué Alfaro Garcia

Lagunilla Barreal de Heredia
Costa Rica

31 de Agosto de 2016

Fuente: MM and Industries

Figura 26. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 1

7. Cronograma tentativo para el servicio propuesto:

Actividades en días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recibo de OC	X									
Inspección en sitio de los sistemas mencionados		X								
Medición de las mallas de tierra			X							
Entrega de reporte y documentación al cliente impresa, presentación de las anomalías.				X						

8. Descripción de la oferta:

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CANT	UNITARIO COLONES	TOTAL COLONES
1.	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de resistencia de mallas de tierra; malla de tierra de la subestación principal, y otras. • Revisar estado de las mallas de tierra y los puntos de puesta a tierra. • Revisar que no tenga corriente las líneas de tierra. • Reportar cualquier anomalía encontrada, pasar informe digital e impreso. 	1	€432,890.90	€432,890.90
			SUB-TOTAL	€432,890.90
			TOTAL	€432,890.90
(00/100)				

Fuente: MM and Industries

Figura 27. Cotización de MM and Industries para el estudio de tierras Pt 2

COCORISA
Corrugadora de Costa Rica S.A.

600 mtrs oeste de Jardines del Recuerdo
Lagunilla de Heredia. Heredia, Costa Rica
Tel.: 506 2277-1200 Fax:506 2277-1233

VERSION 2 - 20/10/11 F7107 - PON7120

No. Pedido OC16001969
Fecha 19/10/2016
Bodega B23

ORDEN DE COMPRA

Proveedor:

Proveedor: CONSTRUCCIONES Y DERIVADOS WESCESLAO S.A.
COSTA RICA

Entregar en:

Proveedor: BODEGA DE MATERIALES COCORISA

Atn.:

Tel.: Fax.:

Condiciones de Pago: DE CONTADO
Fecha Entreg 28/10/2016

Ordered	UM	DESCRIPTION	UNIT PRICE	Mon	TOTAL
1.00	UN	SERV. REGISTROS PARA MED. TIER REGISTROS REQUERIDOS PARA MANTENIMIENTO Y MEDICIÓN DE TIERRAS EN SUBESTACION ELECTRICA	380,000.000000	CRC	380,000.00

Notes:

Subtotal 380,000.00
Impuesto de Ventas 0
TOTAL CRC 380,000.00

OBSERVACIONES:

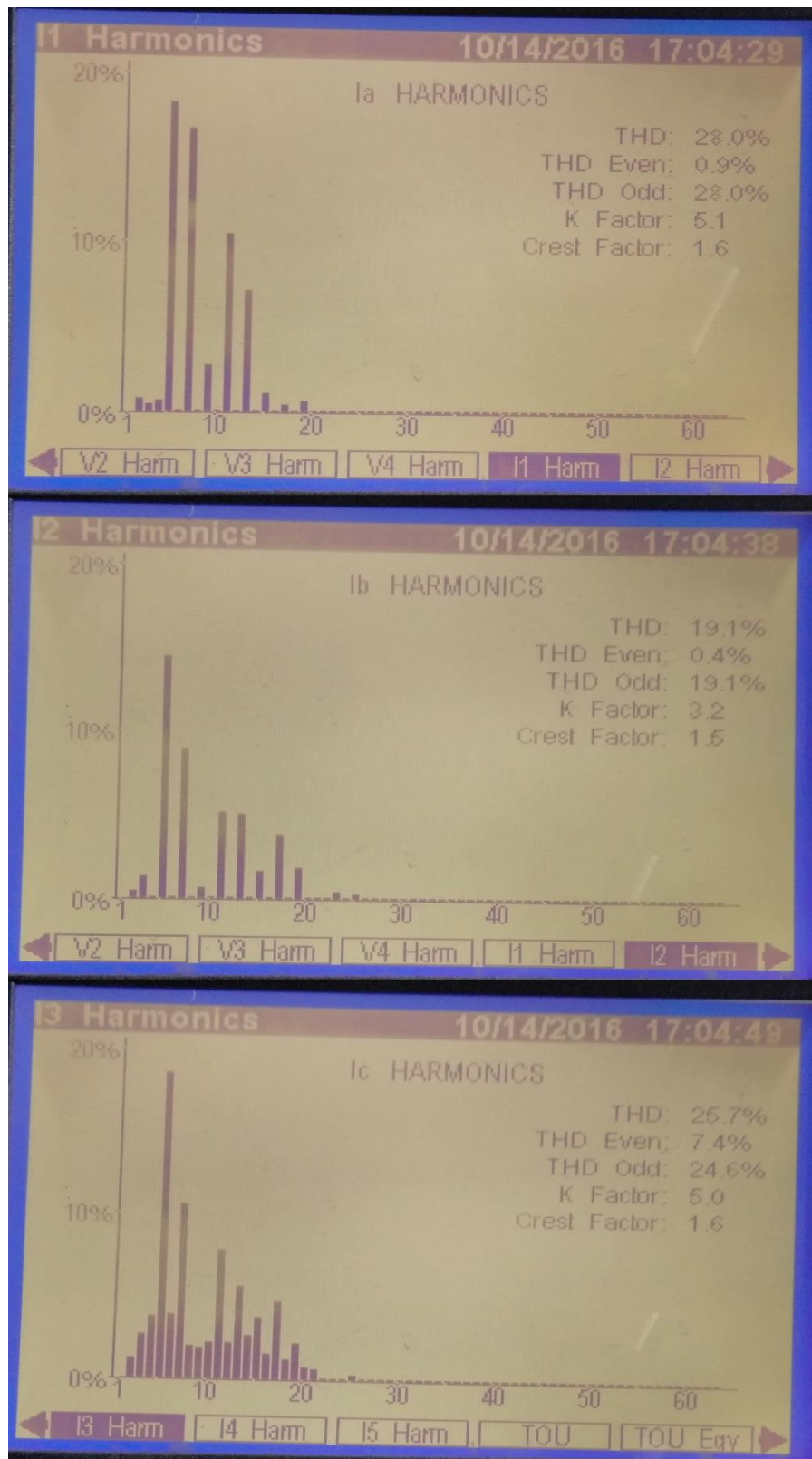
1. El número de esta orden debe aparecer en su factura.
2. Se pagará los días jueves en la tarde de acuerdo con el plazo establecido.
La presentaciones de los originales se hará los lunes de cada semana.

Atención: JOSE MIGUEL RODRIGUEZ
j.rodriguez@grupocybsa.com

OSCAR ARCIA RODRIGUEZ
Electronic Authorized by 25/10/2016 07:33 a.m.

Construcciones y Derivados Wesceslao S.A.

Figura 28. Cotización por las cajas de registro en la malla de tierras



Fuente: Propia

Figura 29. Porcentaje de armónicos identificados en las líneas



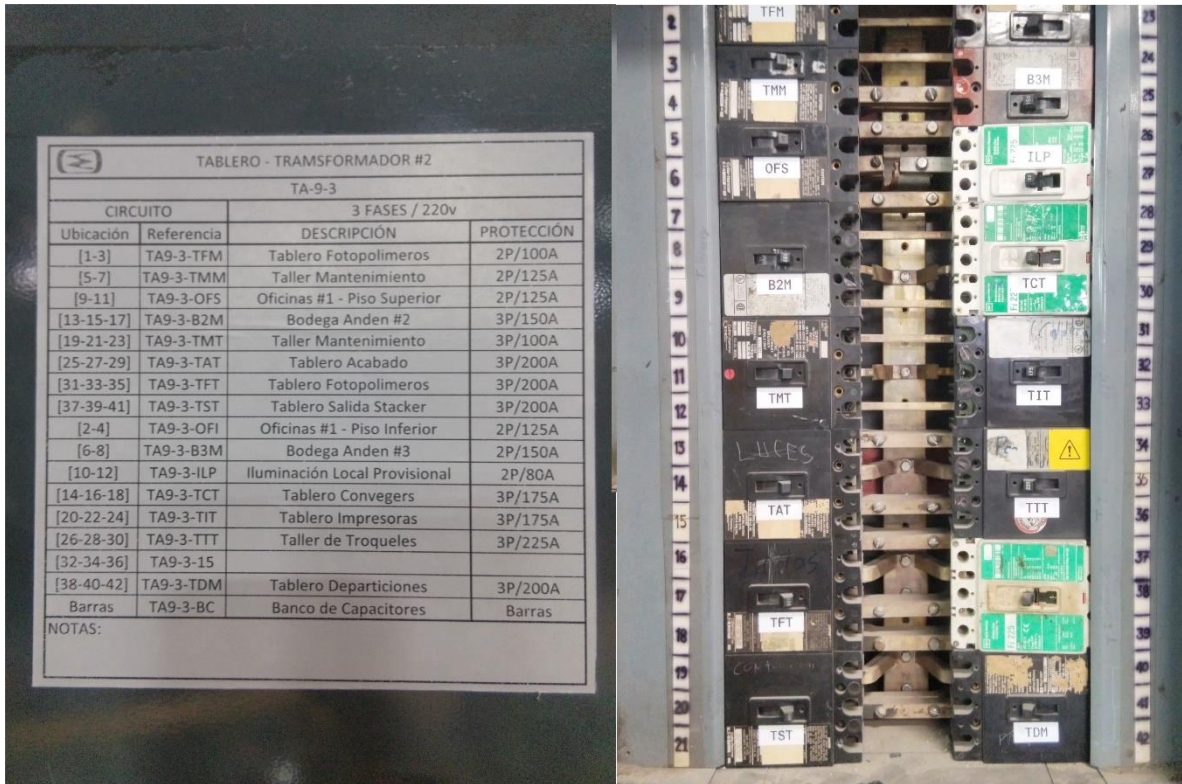
Fuente: Propia

Figura 30. Transformador principal de 1200 KVA abierto



Fuente: Propia

Figura 31. Disyuntor principal y barras de neutro y tierra unificadas



Fuente: Propia

Figura 32. Señalización de tableros con el nuevo formato

CAPÍTULO VII – BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2007). *Manual Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Bergamo: ABB SACE.
- Agulleiro, I. (2016). *Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas*.
- Astorga, P. (2006). *Modernización de las protecciones de los motores de inducción y un análisis de puesta a tierra de la planta de pañales, Informe de proyecto de graduación*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Barahona, G. (2014). *Caída de Voltaje*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Barahona, G. (2014). *Electricidad Básica*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Barahona, G. (2014). *Puesta a Tierra*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Barahona, G. (2014). *Selección de Disyuntores*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bermejo, D. E. (2009). *Estudio Técnico de Instalaciones Eléctricas en un Edificio de Oficinas*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
- Campos, J. C. (2016). *Corrección del factor de potencia y control de demanda*. Barranquilla: Universidad Autónoma de Occidente.
- CFIA. (30 de septiembre de 2004). *Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos*. Obtenido de <http://www.cfia.or.cr/descargas/leyes/43.pdf>
- Chapman, S. (2000). *Máquinas Eléctricas*. McGraw Hill.
- EATON. (2008). *Curvas de disparo y regulación de interruptores automáticos*. España.
- EATON. (2014). Lista de Precios - Costa Rica. *EATON*, B33-B35-B56-C13.
- Ingeniería Industrial Online*. (11 de octubre de 2016). Obtenido de <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>
- Mantenimiento Planificado*. (11 de octubre de 2016). Obtenido de <http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalipe%20articulos/MANTENIMIENTO%20AUT%C3%93NOMO.pdf>
- (2016). *Manual de inducción*. Heredia: Grupo Smurfit Kappa.

NEC. (2008). *Código Eléctrico Nacional*. NFPA 70.

Rodríguez Bailey, J. (2013). *Factor de potencia y armónicas*. TEC de Monterrey.

Rojas, G. (2016). *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*.

Schneider, E. (2008). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*.

Smurfit Kappa. (2 de junio de 2016). Obtenido de <http://www.smurfitkappa.com/vHome/cr>

Solo Mantenimiento. (11 de octubre de 2016). Obtenido de Portal del Mantenimiento Industrial: <http://www.solomantenimiento.com/articulos/mantenimiento-autonomo.htm>

Super Breakers. (19 de octubre de 2016). Obtenido de <https://www.superbreakers.net>