

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS  
AMÉRICAS VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“Sistema de alimentación continua para líneas de envasado”**

**MODALIDAD DE PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN  
INGENIERÍA ELECTROMÉCANICA**

**De**

**Alejandro Solano Cerceño**

**Tutor**

**Ingeniero Gilbert Mora Jiménez**

**SEDE ARANJUEZ**

**Noviembre, 2018**

## Contenido

Tablas .....	x
Figuras .....	xi
Gráficos .....	1
Ecuaciones .....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimiento .....	3
Resumen .....	4
Capítulo 1: Introducción.....	5
Planteamiento del problema.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos .....	5
Justificación .....	6
Antecedentes.....	7
Antecedente 1 .....	7
Antecedente 2 .....	8
Antecedente 3 .....	10
Antecedente 4 .....	12
Proyecciones.....	13
Capítulo 2: Marco teórico.....	14
Sistemas de protección ininterrumpida (siglas en ingles UPS) .....	15
<b>UPS</b> .....	15
<b>Supresor de picos</b> .....	15
Módulo de UPS .....	17
Rectificador/cargador .....	17
Inversor.....	18
Interruptor de derivación automática .....	18
Interruptor de derivación para mantenimiento .....	18
Batería .....	18
Cargas críticas .....	18

Plantas eléctricas.....	19
Centrales de emergencia.....	19
Generación a pequeña escala: grupo electrógeno.....	19
Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:.....	20
Generador.....	21
Sistema de abastecimiento de combustible.....	22
Sistema de enfriamiento.....	24
Sistema de extracción de gases.....	24
Gobernadores.....	25
Existen dos tipos básicos de gobernadores:.....	25
Gobernador mecánico:.....	25
Gobernador isocrónico:.....	25
Transferencia.....	25
Capítulo 3: Marco metodológico.....	28
Enfoque de investigación.....	28
Método de investigación.....	28
Fuentes de información.....	28
Variables o categorías de análisis.....	29
Definiciones conceptuales.....	29
Tensión:.....	29
Corriente eléctrica.....	30
Potencia.....	31
Potencia aparente.....	32
Potencia activa.....	33
Potencia reactiva inductiva.....	33
Potencia reactiva capacitiva.....	33
Tiempo.....	34
Longitud.....	35
Peso.....	36
Definición operacional:.....	36
Tensión.....	36
Corriente eléctrica.....	36

Potencia .....	37
Tiempo .....	37
Peso .....	37
Longitud .....	37
Definición instrumental .....	38
Tensión .....	38
Amperímetro .....	38
Watímetro.....	38
Tiempo .....	38
Peso .....	38
Longitud .....	38
Instrumentos .....	39
Proceso para la recolección y análisis de datos .....	39
Capítulo 4: Análisis de resultados .....	41
Desarrollo.....	41
Costo por paro de equipo .....	42
Escenario 1 .....	43
Escenario 2 .....	43
Escenario 3 .....	44
Escenario 4 .....	44
Escenario 5 .....	45
Consumo eléctrico de equipos por proteger.....	56
Medición de líneas de alimentación.....	57
Ubicación de futuros equipos de protección .....	62
Conclusiones.....	68
Recomendaciones: .....	72
Anexos.....	73
Anexo 1 .....	73
Anexo 2 .....	74
Anexo 3 .....	76
Anexo 4 .....	78
Anexo 5 .....	80

Anexo 6 .....	83
Anexo 7 .....	84
Bibliografía.....	85

## Tablas

- Tabla 1. Utilización de línea de datos en SAP, página 43.
- Tabla 2. Costo por un evento de falla de fluido eléctrico línea 4, página 45.
- Tabla 3. Costo por un evento de falla de fluido eléctrico línea 250 B, página 46.
- Tabla 4. Costo evento por falla de fluido eléctrico 2 líneas 250 ml, pagina 46.
- Tabla 5. Evento de línea 250 ml y línea 330 ml por falla de fluido eléctrico, página 47.
- Tabla 6. Costo de perdida por falla de fluido eléctrico 6 horas de paro 2 líneas 250 ml y 330 ml, página 47.
- Tabla 7. Resumen de costo de combinaciones por un evento de falla de fluido eléctrico, página 48.
- Tabla 8. Porcentaje de aporte de 2 líneas 250 ml, página 51.
- Tabla 9. Aporte de una línea 250 ml y una 330 ml, página 51.
- Tabla 10. Escenario 5 distribución de participación de líneas de producción, página 52.
- Tabla 11. Eventos por mes 2017 por falla de fluido eléctrico, páginas 52, 53, 54.
- Tabla 12. Resumen de costo de escenario por falla de fluido eléctrico, página 54.
- Tabla 13. Costo por falla de fluido eléctrico en líneas, página 54.
- Tabla 14. Línea de producción con sus equipos respectivos, página 55.
- Tabla 15. Consumo eléctrico teórico de equipos de envasado, página 57.
- Tabla 16. Potencia de servicios auxiliares para mantener los equipos estériles, página 58.
- Tabla 17. Resumen de medición de tensión entre líneas de alimentación, página 60.
- Tabla 18. Resumen de medida de corrientes de línea, página 61.
- Tabla 19. Consumo real de equipos por proteger, página 62.
- Tabla 20. Consumo real de los equipos con las especificaciones de instalación, página 63.
- Tabla 21. Potencia recomendada para los equipos de protección, página 65.
- Tabla 22. Calculo de potencia de batería, amperios/hora, página 71.
- Tabla 23. Desbalance de tensión, página 74.

- Tabla 24. Desbalance de corriente, página 75.
- Tabla 25. Valores de corriente despejando ecuación 11, página 76.
- Tabla 26. Tipo de conductor y cantidad de conductores según tabla 310.16 código NEC, página 78.
- Tabla 27. Tipo de tubería según tabla 4, código NEC, página 80.
- Tabla 28. Resumen de caídas de tensión por ubicación, página 83.
- Tabla 29. Resumen de potencia sugerida UPS, página 84.

## **Figuras**

- Figura 1. Sistema de UPS, página 20.
- Figura 2. Planta eléctrica con motor a diésel, página 22.
- Figura 3. Generador eléctrico, página 22.
- Figura 4. Sistema de control, página 24.
- Figura 5. Transferencia manual página 28.
- Figura 6. Transferencia automática página 28.
- Figura 7. Voltímetro página 32.
- Figura 8. Amperímetro de gancho página 33.
- Figura 9. Relación entre potencia aparente, real y activa página 34.
- Figura 10. Watímetro 125 FLUKE, página 36.
- Figura 11. Cronómetro digital, página 37.
- Figura 12. Cinta métrica, página 37.
- Figura 13. Unidad de masa en sistema internacional, página 38.
- Figura 14. Ubicación de plano de planta para ubicación de equipos de protección, página 64.

Figura 15. Extracto de tabla 310.16 código NEC, página 74.

Figura 16. Extracto de tabla 5, código NEC, página 76.

Figura 17. Tabla 4, código NEC, página 77.

Figura 18. Recorte de plano de planta de bebidas no carbonatadas Coronado, página 78.

## **Gráficos**

Gráfico 1. Eventos por falla de fluido eléctrico, página 49.

Gráfico 2. Eventos por mes, página 49.

Gráfico 3. Gráfico 4, grafico 5, grafico 6, eventos por mes, páginas 49 y 50.

Gráfico 7. Tensión en línea de alimentación 1, página 59.

Gráfico 8. Tensión de línea de alimentación 2, página 59.

Gráfico 9. Tensión en línea de alimentación 3, página 60.

Gráfico 10. Corriente de alimentación L1, página 61.

Gráfico 11. Corriente de alimentación L2, página 61.

Gráfico 12. Corriente de alimentación L3, página 62.

## **Ecuaciones**

Ecuación 1. Relación de potencia, página 35.

Ecuación 2. Fórmula potencia aparente, página 35.

Ecuación 3. Fórmula de potencia absorbida, página 36.

Ecuación 4. Fórmula de potencia inductiva, página 36.

Ecuación 5. Fórmula de potencia capacitiva, página 36.

Ecuación 6. Fórmula para la definición de caída de tensión, página 68.

Ecuación 7. Fórmula de porcentaje de caída de tensión, página 68.

Ecuación 8. Tensión de desbalance, página 71.

Ecuación 9. Corriente de desbalance, página 72.

Ecuación 10. Cálculo de potencia, página 73.

Ecuación 11. Cálculo de corriente, página 73.

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a Dios todo poderoso que me ha dado la paciencia y sabiduría para poder continuar con mis estudios profesionales y no claudicar en el intento.

A mi amada madre que me alimento y me dio el impulso para continuar con mis estudios profesionales y no desfallecer en los momentos difíciles de la carrera.

A mi querida esposa quien me acompaño en todas las noches y madrugadas apoyándome en el arduo camino del estudio.

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis compañeros de trabajo los cuales me pudieron ayudar con los cambios de horario para no fallar y poder asistir a todos los cursos según el horario y a todos los profesores que a lo largo de la carrera nos compartieron su conocimiento profesional y experiencias de vida en el ámbito laboral.

## Resumen

El presente trabajo es una investigación para poder mantener los equipos de producción energizados ante eventos no controlados como la Naturaleza o accidentes causados por el hombre.

Se enfoca en los equipos que es necesarios que permanezcan en producción ya que, al parar, ocasionarían la limpieza de esos equipos utilizando más insumos de los necesarios para producir.

El estudio de las cargas de los equipos de producción dará una guía para poder escoger el equipo adecuado para poder mantenerlos energizados, mediante la medición física de cargas con aparatos de medición adecuados para ese trabajo. El análisis de resultados dará una visión real de la situación de la planta y así poder tomar la decisión adecuada.

Evidenciando que el problema consiste en la caída constante de la alimentación eléctrica, se podrán tomar las soluciones más acertadas con las opciones que se tienen en el mercado.

# Capítulo 1: Introducción

## Planteamiento del problema

¿Cuál es el mejor diseño de alimentación eléctrica de respaldo para las líneas de envasado de la empresa “Coca Cola FEMSA no carbonatados”, ubicada en San Antonio de Coronado?

## Objetivo general

Determinar cuál es el mejor diseño de alimentación eléctrica de respaldo para las líneas de envasado de la empresa “Coca Cola FEMSA no carbonatados”, ubicada en San Antonio de Coronado.

## Objetivos específicos

1. Determinar el costo total de los paros ocasionados por cortes eléctricos en cada una de las líneas de producción, con el fin de establecer cuáles son las líneas de producción que necesitan permanecer energizadas y mantenerse listas para producir; por medio del costo de cada uno de los escenarios de paro y el análisis del histórico de paros.
2. Determinar la carga eléctrica por respaldar, para así dimensionar los equipos que puedan suplir esa carga, por medio de la medición de energía eléctrica en estado estéril<sup>1</sup>.
3. Definir la ubicación de los equipos, para garantizar la menor caída de tensión y el menor costo de inversión, mediante la realización de los cálculos eléctricos y de los equipos de protección necesarios.
4. Definir las especificaciones de los equipos de protección y de respaldo, para garantizar su correcta operación, con base en los resultados de la investigación y los

---

<sup>1</sup>Estado estéril: Proceso en el cual la llenadora mantiene las condiciones para producir en un ambiente libre de microorganismos patógenos y no patógenos.

estudios de la calidad de energía solicitados a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y el código eléctrico vigente.

### **Justificación**

La empresa “Coca Cola FEMSA” tiene una de sus plantas ubicada en San Antonio de Coronado; esta es la división de productos no carbonatados en envase TETRA PACK. La empresa sufre de salidas de alimentación eléctrica por espacios a veces cortos y otras prolongados, lo que representa que la planta se detenga por espacios de 6 horas. La alimentación principal de energía eléctrica es suministrada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). Una de las causas encontradas fue ser el final de la red de alimentación eléctrica de 13.5 KV, suministrada por la sub-estación eléctrica ubicada en el cantón de Montes de Oca en el distrito de Sabanilla; ahí la empresa está expuesta tanto a eventos naturales como a otros ocasionados por el hombre. Una de las soluciones propuestas por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y que no fue a largo plazo, fue pasar la línea de alimentación de 13.5 KV a una red de alimentación de 34.5 KV que es más industrial; sin embargo, se siguen presentando salidas por falla de energía eléctrica. Para ser una empresa más competitiva es necesario que se eliminen los paros innecesarios de la forma más eficiente para tener el producto siempre en el mercado justo a tiempo. En el 2017 fueron contabilizados 89 eventos o salidas de fluido eléctrico; esto representa que la producción se detenga y genere más gastos en limpieza de equipos para restablecer su funcionamiento; así la producción se retrasa en la entrega del producto terminado al área de ventas.

## **Antecedentes**

### **Antecedente 1**

Título: Análisis de sistemas ininterrumpidos de energía para su aplicación en empresas.

Autor: Edwin Galahor Díaz Vázquez.

Fecha: Febrero de 2015.

Institución: Instituto politécnico nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica Unidad Culhuacán. México.

Estudiar los sistemas ininterrumpidos de energía eléctrica y su aplicación en la industria, así como sus características y diferencias para la elección adecuada del sistema requerido para cada caso de estudio.

Toda empresa requiere de confiabilidad en el suministro de energía eléctrica para el desarrollo de sus procesos productivos, como son la base de datos para el cálculo de la nómina, expedientes, inventarios, compraventa de materia prima, insumos, etc. Para garantizar la continuidad de sus operaciones y procesos, en cuanto al suministro de energía eléctrica, se requiere contar con un UPS que deberá de cubrir las necesidades de cada empresa particular, como medida para minimizar las pérdidas económicas en horas-hombre y datos perdidos debidos a fallas en el suministro eléctrico.

Los problemas ocasionados por la falta de protección para los equipos alimentados con energía eléctrica, contra fallas en el fluido eléctrico, son comunes en la industria y como ingenieros tenemos alternativas para buscar soluciones a este tipo de problemas.

En la mayoría de los países, el suministro eléctrico se abastece a través de redes eléctricas que se interconectan de numerosas estaciones generadoras a ciudades y empresas.

La red eléctrica debe abastecer las necesidades básicas, como iluminación pública y residencial, calefacción, refrigeración, aire acondicionado, transporte, así como el abastecimiento a comunidades gubernamentales, industriales, financieras, comerciales,

médicas y de comunicaciones.

El suministro eléctrico le permite al mundo moderno funcionar a un paso acelerado. La tecnología ha penetrado profundamente en nuestros hogares y empresas; la llegada del comercio electrónico ha cambiado la forma en la que se interactúa con el resto del mundo.

Un mal suministro tiene un gran impacto en la economía, por ejemplo en los procesos industriales automatizados donde líneas enteras de producción pueden descontrolarse y crean situaciones riesgosas para el personal de planta y un costoso desperdicio de materiales. La pérdida de procesamiento en una gran corporación financiera puede costar miles de dólares irrecuperables por minutos de inactividad, así como muchas horas posteriores de recuperación. El daño de programas y datos causado por una interrupción en el suministro de energía eléctrica puede provocar problemas en las operaciones de recuperación de software que puede llevar semanas en resolverse.

Muchos problemas en el suministro de la energía, tiempo de inactividad, daño de software y datos son resultado de una fuente de alimentación problemática y se originan en la red de suministro eléctrico comercial, porque sus miles de kilómetros de líneas de transmisión están sometidas a condiciones climáticas como huracanes, tormentas, rayería, nieve, hielo e inundaciones, junto con fallas de los equipos, accidentes de tránsito y grandes operaciones de conexión.

El reto para las compañías suministradoras es el abastecimiento de energía eléctrica de manera eficiente y con alta calidad, con un equilibrio en las necesidades de los usuarios y los costos de generación de la energía.

## **Antecedente 2**

Título: Análisis de grupo electrógeno, UPS y sistema de transferencia automática en un hospital tipo IMSS de la red del país.

Autor: José Manuel González Hernández.

Fecha: Febrero de 2012.

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México.

Ante la necesidad de resolver las complejas situaciones de salud de la población, entre las cuales podemos hacer énfasis en el incremento de enfermedades crónicas y degenerativas, de problemas asociados a la industrialización y urbanización, de prevalencia de enfermedades asociadas a la pobreza y de insuficiencia de recursos para satisfacer la creciente demanda, México requiere de importantes transformaciones en el sistema de salud para responder a retos presentes y futuros.

Por lo tanto, en los hospitales no es posible sustentar el derecho a la salud si no se garantiza a la población que los servicios hospitalarios sean de buena calidad; ello significa ofrecer a los pacientes los mayores beneficios posibles con los menores riesgos para su salud y su vida.

Para que los hospitales proporcionen su servicio, con la calidad y la seguridad requeridas a sus pacientes y a los propios integrantes de los equipos de salud, es necesario que cumplan con requisitos mínimos de infraestructura y de instalaciones físicas y eléctricas y con el equipo de respaldo que garantice la seguridad eléctrica en aquellas áreas de uso médico que así lo precisen; el objetivo no es evitar interrupciones de suministro eléctrico, mediante el análisis y el dimensionamiento del equipo de respaldo de energía asociado.

Los equipos de respaldo de energía son sumamente importantes en el funcionamiento básico del hospital; por lo tanto debe adaptarse no solo a las características de la red sino cumplir, además, con todas las exigencias de los sistemas hospitalarios.

Lo anterior se logra convirtiendo las tensiones de red (o el equipo que la reemplaza en casos de emergencia) en tensiones adecuadas a la alimentación de esos sistemas respetando, especialmente, sus exigencias en lo referente a niveles, tolerancias, purezas, etc.

Ante fallas de la red (por ejemplo, corte del suministro) o de la propia fuente de alimentación, es necesario adoptar medidas dirigidas a preservar la seguridad del servicio.

El pronóstico de este trabajo de tesis es realizar un análisis y proponer mejoras en los sistemas de emergencia para la alimentación eléctrica, implementados en las unidades “tipo” hospitalarias, donde es indispensable la continuidad y la seguridad en la

alimentación eléctrica; en situaciones de falla del suministro de energía eléctrica esta contingencia representa un riesgo latente para los individuos que están en tratamiento o bien en condiciones delicadas y en manipulaciones o intervenciones dentro de los quirófanos.

Es decir, en un caso extremo la vida de los pacientes y los usuarios está en riesgo directa o indirectamente en casos de falla eléctrica prolongada; por ello, definir e implementar el equipamiento que controlara el suministro eléctrico para el accionamiento de la energía de manera ininterrumpida para cargas críticas, es necesidad y se debe contemplar de manera específica en los distintos proyectos hospitalarios.

### **Antecedente 3**

Título: Especificación e implementación de plantas eléctricas para baja tensión.

Autor: Jeremy Bolaños Vásquez.

Fecha: Julio de 2008.

Institución: Universidad de Costa Rica.

La energía eléctrica es el medio necesario para llevar a cabo prácticamente todas las actividades diarias que realiza el ser humano, tanto a nivel residencial como comercial e industrial.

Existen dos factores que inciden en la continuidad y calidad del servicio de energía eléctrica principalmente: el aumento desmedido en la demanda y la presencia de fallas en el sistema eléctrico.

Actualmente, en el país hay un aumento en la demanda de energía a un ritmo en el que las compañías encargadas de la generación no pueden seguir; por ello es necesario que las empresas tomen en consideración que la generación va a un ritmo más lento que la demanda y tomen medidas al respecto.

Por otra parte, las fallas pueden darse por causas aleatorias, ya sea vegetación en contacto con líneas de distribución, animales que producen cortos en las líneas, descargas atmosféricas, vientos, etc.; estos aspectos son muy difíciles de controlar, por lo que resulta

prácticamente imposible asegurar la continuidad del servicio.

La interrupción del servicio de energía eléctrica tiene repercusiones como retrasos en la producción, lo que se traduce en pérdidas económicas, pérdida de la credibilidad de la empresa, etc.

Por ello es necesario asegurar que se cuente con un servicio de energía que trabaje con la mayor continuidad posible y de la manera más estable. En casos especiales, tales como la refrigeración de productos o más seriamente en hospitales, las interrupciones del servicio deben ser mínimas y su duración debe ser lo más corta posible.

Un aspecto que es muy importante mencionar es la cantidad de incendios que se están suscitando con más frecuencia, en la actualidad, debidos, en su mayoría, a fallas en la instalación eléctrica. Por ello es primordial hacer una evaluación acerca de los códigos que rigen la correcta realización de instalaciones eléctricas, para asegurar una correcta manipulación de los grupos.

El NEC, al ser un código de seguridad, permite en este caso implementar una planta eléctrica que pueda ser compatible con el resto de la instalación eléctrica y, a la vez que no vaya a constituir un riesgo para el personal ni para el equipo presente en la instalación.

El tema de plantas eléctricas prácticamente no se menciona en la carrera de Ingeniería impartida en la Escuela de Ingeniería eléctrica de la Universidad de Costa Rica, por lo que el tema es desconocido por muchos de los estudiantes recién graduados e inclusive por muchos ingenieros que no han tenido la experiencia de trabajar previamente con este tipo de equipos.

Los problemas en el suministro de energía de los últimos años y en los venideros hacen que las plantas eléctricas sean primordiales para cubrir las deficiencias del suministro eléctrico.

La bibliografía acerca de plantas eléctricas no es tan abundante como en otros temas; este es uno de los factores que inciden en la importancia de este tipo de investigaciones.

## Antecedente 4

Titulo: Propuesta de mejoramiento de los sistemas de protección de la red eléctrica, circuito Cerrillos.

Autor: Roberto Vega Axtle.

Fecha: Enero de 2010.

Institución: Instituto tecnológico de Costa Rica.

La empresa JASEC se encarga de brindar el servicio de suministro de energía eléctrica en la provincia de Cartago. La empresa intenta mantener en todo momento un servicio continuo y sin cortes y, para ello, emplea sistemas de protección. Sin embargo estos sistemas de protección actualmente no funcionan de manera coordinada, esto es, no aíslan fallas de manera eficaz y permiten que una mayor cantidad de clientes se vea afectada al presentarse una falla.

Para lograr el funcionamiento coordinado deseado, se pretende realizar un levantamiento de los parámetros de configuración programados en los dispositivos de protección, para así analizar el comportamiento actual de la red ante una falla; esto con ayuda del software de simulación ETAP<sup>2</sup>. Luego, con los resultados de la simulación, y tomando en cuenta estándares requeridos por la empresa y el comportamiento de la red, determinar cuáles dispositivos requieren una nueva configuración. Finalmente, se pretende obtener los parámetros de configuración que permitan un comportamiento coordinado y validarlos mediante la simulación en el software mencionado; todo esto tomando en cuenta las posibles condiciones de funcionamiento de la red.

---

<sup>2</sup> ETAP: software de ingeniería eléctrica para sistemas de potencia.

## Proyecciones

1. Determinar el costo por falta de fluido eléctrico el cual considera las horas en las que la planta pueda restablecer la esterilización de los equipos para nuevamente entrar en producción, incluyendo el CIP<sup>3</sup>.
2. Presentar una actualización de los planos de la planta para futuras ampliaciones con el fin de realizar el crecimiento de una forma más ordenada.
3. Proteger los equipos de producción de tal manera que se mantengan estériles para evitar posibles pérdidas por falta de fluido eléctrico.
4. Presentar una opción de equipo para proteger los equipos de producción, de tal forma que no se afecte su funcionamiento.
5. Complementar el equipo de protección sugerido con una alternativa de generación de energía eléctrica para dar continuidad al proceso.
6. Determinar las cargas mediante la medición de líneas de alimentación que necesiten estar en estado estéril.
7. Definir detalles de instalación: ubicaciones, entubado, caídas de tensión.

---

<sup>3</sup> CIP, en inglés “Cleaning in place”, es la limpieza que se le realiza a las tuberías y componentes de llenado antes de esterilizar la llenadora.

## Capítulo 2: Marco teórico.

Con el desarrollo creciente de proyectos urbanísticos, comerciales e industriales en nuestro país, se ha incrementado el uso de la tecnología de distribución eléctrica subterránea, como resultado de las ventajas que presenta este esquema de distribución respecto de otros.

Asimismo, la distribución subterránea viene a ser la solución para satisfacer, de una manera adecuada, las necesidades cada vez mayores de los clientes de las empresas de distribución de obtener un servicio de energía eléctrica de mayor calidad y con mejores índices de continuidad<sup>4</sup>.

Esta situación ha hecho que las empresas del grupo ICE (Instituto Costarricense de Electricidad) se hayan dado a la tarea de emitir la normativa necesaria para la regulación de los nuevos sistemas de distribución eléctrica subterránea. Fue así como, con la ejecución del nuevo sistema para la ciudad de San José, que la CNFL(Compañía Nacional de Fuerza y Luz) generó las primeras normas de distribución subterránea. Por su parte, la UEN de servicio al cliente de electricidad del Instituto Costarricense de Electricidad formó una comisión para elaborar el documento “Normas para las Redes de distribución Subterráneas”<sup>5</sup>. Ambos esfuerzos integran experiencia y conocimientos sobre esta tecnología y, actualmente, sirven como guía para desarrolladores de nuevos proyectos. El objetivo es establecer, a nivel nacional, en las áreas servidas por las empresas del grupo ICE, los criterios, métodos, equipos y materiales utilizados en el planeamiento, diseño y construcción de redes de distribución eléctrica subterráneas; esto permitirá obtener economía, confiabilidad, seguridad, estética y continuidad del servicio eléctrico por medio de instalaciones eficientes que requieran un mínimo de mantenimiento y una máxima calidad de servicio.

---

<sup>4</sup> Manual para redes de distribución eléctrica subterránea 19.9/34.5 kV.

<sup>5</sup> Tomado del manual para redes de distribución eléctrica subterránea 19.9/34.5 KV

## **Sistemas de protección ininterrumpida (siglas en ingles UPS)<sup>6</sup>.**

Para entender el significado del sistema de protección ininterrumpida, se desarrollarán los siguientes conceptos:

### **UPS**

Son dispositivos electrónicos diseñados con el objetivo de proteger aparatos eléctricos y electrónicos de variaciones de diferencia de potencial (tensión/voltaje), descargas eléctricas y ruido existente en la corriente alterna de la distribución eléctrica. Están presentes en las fuentes de alimentación de corriente continua reguladas cuya misión es la de proporcionar una tensión constante a su salida.

Asimismo, gracias a pequeños acumuladores internos, estos sistemas pueden seguir proporcionando energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón.

La UPS se hace necesaria en aquellos dispositivos que necesitan un debido proceso de apagado, por ejemplo, sistemas de aire acondicionado, computadoras y neveras; gracias a ese pequeño tiempo extra de energía que ofrece la UPS, pueden tomarse las medidas necesarias para desactivar los aparatos sin que estos sufran fallas en sus sistemas internos.

### **Supresor de picos**

Tiene la función de eliminar los transitorios de tensión (picos de voltaje) que, debido a su corta duración (ejemplo 50 microsegundos), no son detectados fácilmente por otros equipos de calidad de energía. Los picos son generados por muchos equipos o materiales en una instalación eléctrica.

Los equipos electrónicos son los más sensibles a los picos de corriente, puesto que, en ocasiones, estos superan la capacidad de los microcircuitos. Protegerlos de picos es de suma importancia para garantizar un funcionamiento perfecto en todo momento.

---

<sup>6</sup>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_alimentaci%C3%B3n\\_ininterrumpida#Fallos\\_comunes\\_en\\_el\\_suministro](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_ininterrumpida#Fallos_comunes_en_el_suministro).

Se puede resumir que una UPS eleva o disminuye la corriente, para que la corriente eléctrica sea estable, es decir, para que el flujo de corriente llegue a un aparato sin irregularidades; cuenta con baterías lo que permite un apagado correcto, a pesar de la falta de energía. Esto la diferencia de un “supresor de picos” el cual únicamente evita las sobre-corrientes repentinas.



**Figura 1 Sistema UPS.<sup>7</sup>**

El sistema de UPS consistirá en la cantidad adecuada de módulos UPS para capacidad y redundancia. Cada UPS consistirá de un módulo de UPS y una batería. La salida de CA<sup>8</sup> del módulo de la UPS debe estar conectada a las cargas críticas. La batería debe estar conectada a la entrada de CC<sup>9</sup> de la UPS. Todos los módulos de UPS deben de operar simultáneamente y compartir la carga. La configuración de la UPS será de un único módulo o de módulos múltiples de UPS en paralelo, clasificados para suministrar la carga como se especifica. No se requieren gabinetes especiales para poner en paralelo, gabinetes de control ni circuitos de derivación para los sistemas paralelos. Se pueden poner hasta 8

<sup>7</sup> Tomado de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/UPSAPC.jpg>

<sup>8</sup> CA, corriente alterna.

<sup>9</sup> CC, corriente continua

módulos en cualquier combinación para obtener capacidad o redundancia.

Los módulos de UPS clasificados a 10KVA y 20KVA estarán disponibles con baterías internas o externas. Las baterías internas (si están incluidas) estarán clasificadas de la siguiente manera:

- 10KVA 14 minutos.
- 20KVA 5 minutos.

Para tiempos de ejecución más prolongados, se requerirá una batería externa y se omitirá la batería interna. Los módulos de UPS clasificados a 30KVA y más solo tendrán baterías externas.

El mantenimiento y el servicio técnico del UPS no estarán restringidos por software registrado o dispositivo de interfaz externos. Todo proveedor de servicio capacitado de fábrica podrá realizar el mantenimiento y reparación del UPS. Se podrá realizar el mantenimiento y la reparación del UPS. Se podrá realizar también la calibración y el diagnóstico del UPS de forma remota o mediante la pantalla frontal y se facilitará solo mediante parámetros programables.

### Módulo de UPS

Es la porción del sistema UPS que contiene el rectificador/cargador, el inversor, el interruptor de derivación estático, el interruptor de derivación de mantenimiento, los controles, el monitoreo y los indicadores.

### Rectificador/cargador

Es la porción del módulo del UPS que convierte la energía de entrada de CA normal en energía de CC para la entrada del inversor y para cargar la batería.

### Inversor

Es la porción del módulo del UPS que convierte la energía de CC del rectificador/cargador o de la batería en energía de CA regulada y filtrada que es provista a la carga crítica.

### Interruptor de derivación automática

Es la porción del módulo del UPS que automáticamente transfiere las cargas críticas, sin interrupción, desde la salida del inversor hasta la derivación de la fuente de alimentación de CA en el caso de una sobrecarga o una degradación del rendimiento del inversor.

### Interruptor de derivación para mantenimiento

Es la porción del UPS que se utiliza para conectar la derivación de la fuente de alimentación de CA a las cargas críticas mientras se aísla eléctricamente el interruptor de derivación estático, el rectificador/cargador y el inversor, con fines de mantenimiento.

### Batería

Es el sistema de batería que proporciona energía de CC a la entrada del inversor cuando falla la energía de entrada CA normal al módulo del UPS o en el caso de que falle el rectificador/cargador.

### Cargas críticas

Son aquellas cargas que requieren energía de CA continua regulada y que están conectadas al módulo de salida del UPS.

## **Plantas eléctricas**

Las plantas eléctricas son las instalaciones productoras de energía eléctrica. Son instalaciones donde hay un conjunto de máquinas motrices y aparatos que se utilizan para la generación de energía eléctrica<sup>10</sup>.

Las centrales reciben el nombre genérico de la energía primaria utilizada; hay centrales térmicas de carbón, centrales nucleares, centrales hidráulicas o hidroeléctricas, centrales eólicas, centrales geotérmicas, etc.

## **Centrales de emergencia**

Tienen igual cometido que las centrales de reserva citadas anteriormente pero la instalación del conjunto de aparatos y máquinas constituye la central de reserva; es fija mientras que las de emergencia son móviles y pueden desplazarse al lugar donde sean necesarios sus servicios. Estas centrales son de pequeñas potencias y generalmente son accionadas por motores de diésel; se instalan en vagones de ferrocarril o en barcos especialmente acondicionados para esta función.

## **Generación a pequeña escala: grupo electrógeno**

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica mediante de un motor de combustión interna. Es comúnmente utilizado cuando hay déficit en la generación de energía de un lugar o cuando hay cortes en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad<sup>11</sup>.

Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro de electricidad a través de la red; generalmente son zonas agrícolas con poca infraestructura o

---

<sup>10</sup> Bibliografía técnica de plantas eléctricas marca Cummins.

<sup>11</sup> Bibliografía técnica de plantas eléctricas marca SDMO.

de viviendas aisladas.

Otro uso es en lugares de mucha concurrencia, como hospitales, fábricas, etc., donde, a falta de energía eléctrica de la red, se necesite otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

- **Motor de combustión interna.** El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar esta labor.

Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina o de diésel.



**Figura 2: Planta eléctrica con motor a diésel**

- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración del motor es problemático, por tratarse de un motor estático y puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire.

- **Alternador.** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado, autorregulado y sin escobillas, acoplado con precisión al motor. El tamaño del alternador y sus prestaciones son muy variables dependiendo de la cantidad de energía que tiene que generar.



**Figura 3: Generador eléctrico**

### Generador

Los generadores que se utilizan son de tipo sincrónico. Son del tipo apantallado, protegido contra salpicaduras; su sistema de excitación y demás características varían de acuerdo con los requerimientos de carga.

El generador puede ser tanto de escobillas como sin escobillas. Sin embargo, el caso más utilizado es del tipo sin escobillas, ya que así se elimina el mantenimiento relacionado con las escobillas y los anillos colectores, por lo que resulta más confiable y práctico.

La tensión de salida del generador se determina mediante la conexión de sus devanados. El fabricante normalmente indica la conexión requerida, si se desean diferentes voltajes de salida, que permiten suministrar potencia con la carga deseada, aunque varíe lentamente o cambie por completo sus características.

- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de funcionamiento a plena carga, según las especificaciones técnicas que tenga el grupo en su forma autónoma.

## Sistema de abastecimiento de combustible

El sistema de abastecimiento de combustible va a depender de la cantidad de tiempo que necesite estar funcionando el sistema de alimentación eléctrica ya que, para esto, se tienen los siguientes tipos:

- **Tanque sub-base:** Va instalado en la base del motor; es el que alimenta directamente el motor.
- **Tanque diario:** Este tanque procura alimentar el sistema mínimo de 8 horas, el cual se encuentra cerca del grupo.
- **Tanque principal:** Este es el que almacena la mayor cantidad de combustible; debe seguir una serie de requisitos para poder obtener el permiso de almacenamiento, de acuerdo con la cantidad de tiempo que se necesite alimentar el sistema, el que generalmente es mayor a 8 horas.
- **Sistema de control:** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas que existan para controlar el funcionamiento, la salida del grupo y la protección contra posibles fallos.



**Figura 4: Sistema de control**

Las funciones principales del sistema de control son:

**Arranque/paro del equipo:** El arranque y el paro del equipo deben estar seleccionados de tal manera que se cumpla con los tiempos de transferencia y de ventilación, después del uso

del equipo.

Sistema de regulación: La regulación se puede dar tanto en la frecuencia del generador como en su tensión.

EL regulador de voltaje es el sistema encargado de la excitación del campo generador. Esto se logra mediante una retroalimentación de la tensión de salida del generador, de manera que se forme un sistema de control de lazo cerrado, desde donde se controla la corriente de excitación inyectada en el devanado del campo, de acuerdo con las exigencias de la carga. El regulador mide la tensión de la armadura del generador, la compara con un valor de consigna con que cuenta el regulador de voltaje automático y toma la acción correspondiente.

- **Interruptor automático de salida:** Para proteger al alternador, hay instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y el régimen de salida del grupo electrógeno. Existen otros dispositivos que ayudan a mantener, de forma automática, su correcto funcionamiento.

- **Regulación del motor.** El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener la velocidad constante del motor en relación con los requisitos de la carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de velocidad del motor afectará la frecuencia de la potencia de salida.

El motor es el elemento que le da la potencia necesaria al generador para poder alimentar las cargas.

La potencia eléctrica que se requiera tener a la salida del grupo electrógeno la proporcionará el motor de la siguiente manera:

$$P_{sal} = P_{int} + P \text{ (servicios propios del grupo electrógeno) } + \text{(pérdidas)}$$

Donde:

$$P_{sal} = \text{Es la potencia de salida del grupo electrógeno (potencia eléctrica)}$$

P (servicios propios del grupo): Se refiere a la potencia que se suministra a elementos que son indispensables para el correcto funcionamiento del grupo: sistema eléctrico del motor, excitación del generador, sistema de control, AVR sistema de gobernación, etc.

P (pérdidas): Son tanto eléctricas como mecánicas. Entre las eléctricas se pueden mencionar pérdidas en el entrehierro del generador, calentamiento de los circuitos de armadura y excitación por el efecto Joule. Las mecánicas pueden darse debido a fricción del eje con el aire, vibraciones, etc.

### **Sistema de enfriamiento**

La temperatura es un factor que incide enormemente en el rendimiento de todos los elementos y fases de operación del grupo electrógeno, al igual que en su vida útil. Es por ello que debe velarse por que no ocurran sobrecalentamientos en el grupo.

El sistema de enfriamiento se encarga de mantener la temperatura de las partes del grupo dentro de los rangos aceptables de operación. Este generalmente se da por la utilización de un medio capaz de absorber el calor generado por el grupo y por la combinación con la ventilación forzada.

Los medios utilizados generalmente son agua, aceite o aire.

### **Sistema de extracción de gases**

Los motores de combustión interna producen gases producto de la combustión de la que se toma la potencia por entregar al grupo.

El sistema de extracción de gases va instalado en la salida del motor. Este sistema debe asegurar la liberación de los gases producto de la combustión de manera segura, para no afectar la seguridad del personal y la manipulación y funcionamiento del grupo.

## Gobernadores

Los gobernadores son los encargados de regular la velocidad del grupo. La frecuencia es la de un sistema de carga aislada. La velocidad y la potencia dependen de la cantidad de combustible inyectado al motor.

El gobernador regula la cantidad de combustible suministrado al motor en varios niveles de carga, para mantener la velocidad o la frecuencia constante. En estado estable, la frecuencia disminuye al aumentar la potencia eléctrica demandada del generador y, en caso contrario, aumenta.

Existen dos tipos básicos de gobernadores:

Gobernador mecánico:

Este gobernador permite una variación de frecuencia del 3-5% desde vacío a plena carga. En estado estable tiene una regulación de frecuencia de  $\pm 0.5\%$ .

Gobernador isocrónico:

Este tipo de gobernador proporciona una frecuencia prácticamente constante en todo el rango de operación de la planta. En estado estable tiene una regulación de frecuencia de  $\pm 0.25\%$ .

## Transferencia

La transferencia es el elemento que permite cambiar la alimentación de la carga entre la red normal de suministro y la planta eléctrica. Esta juega un papel sumamente importante en cuanto a la correcta operación de los sistemas de respaldo energético. La transferencia se puede clasificar de dos maneras.

Según la manera en que es operada:

**Manual:** Esta es accionada manualmente por el operador. No necesita de un sistema de control complejo; sin embargo, debe tenerse cuidado con este tipo de transferencia ya que, dependiendo de las cargas por alimentar y del lugar donde se encuentren, puede poner en riesgo tanto a los equipos como al operador que la maneje.



**Figura 5: Transferencia manual**

**Automática:** Esta cuenta con un sistema de control que constantemente se encarga de monitorear las variables eléctricas de ambas fuentes y, dado el caso, transferir la carga entre la red de suministro y la planta.



**Figura 6: Transferencia automática**

La transferencia entra cuando se interrumpe el suministro de energía, si existe pérdida de fase y si la tensión de suministro alcanza valores que pudieran ser perjudiciales para el

correcto funcionamiento del equipo (bajas tensiones y altas tensiones)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> “transfer switch application manual”.

## **Capítulo 3: Marco metodológico**

### **Enfoque de investigación**

El enfoque de la investigación será cuantitativo ya que se requiere determinar costos por pérdida de producción y la cantidad de energía requerida por las máquinas envasadoras que necesiten estar siempre energizadas para continuar con la producción normal.

### **Método de investigación**

El método es descriptivo ya que se realizará una recopilación de datos de paros por pérdida de esterilidad de las líneas por temas naturales o por el hombre, se obtendrán mediciones en sitio de las líneas de producción, se determinará el estatus actual de las instalaciones, se analizarán las condiciones existentes y cómo mejorarlas para realizar la instalación de los equipos de protección.

### **Fuentes de información**

Historial de paros de planta por medio del sistema digital SAP archivos de digitales.

Registro histórico: Se tienen datos de las producciones indicando los eventos que pasan durante la producción, en los cuales se indican minuto a minuto tales eventos; con esta información puede obtenerse la estadística de paros, estos se analizan para mejorar las futuras producciones.

## **Variables o categorías de análisis**

Para realizar la recomendación de equipos de protección para la maquinaria de producción es necesario tener claras las variables de los equipos que intervienen en el consumo eléctrico según el equipo por proteger.

Para ello se requiere la medición de variables eléctricas como: tensión eléctrica, amperios/hora, potencia teórica y real de los equipos de producción.

A continuación, se describen las definiciones conceptual, operativa e instrumental de cada una de las variables:

### **Definiciones conceptuales**

Tensión:

La tensión eléctrica o diferencia de potencial (también denominada voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También puede definirse como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Puede medirse con un voltímetro<sup>13</sup>. Su unidad en el sistema internacional de medidas es el voltio.

---

<sup>13</sup> Un voltímetro es un instrumento que se usa para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. <https://conceptodefinicion.de/voltaje/>



**Figura 7: Voltímetro.**

### Corriente eléctrica

Una corriente eléctrica consiste en un flujo de electrones a través de un material conductor. Dicha corriente se caracteriza por varias propiedades y parámetros, como la intensidad, la potencia o la tensión.

La intensidad de una corriente eléctrica es la cantidad de electrones que fluyen por unidad de tiempo a través de un material; en el Sistema Internacional de Unidades se mide en amperios cuyo símbolo es A.



**Figura 8: Amperímetro de gancho**

## Potencia

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo o el ritmo con el cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o Watt<sup>14</sup> (W).

Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor (calentadores), luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos.

La potencia compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma vectorial de la potencia que produce dicho circuito y la potencia utilizada para la formación de los campos magnético de sus componentes.

La magnitud de la potencia compleja se conoce como potencia aparente y se identifica con la letra S.

La potencia que produce el circuito eléctrico se transforma en calor o trabajo; se conoce como potencia media, activa o real, se designa con la letra P y se mide en vatios (W).

La potencia que forma los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes se conoce como potencia reactiva, se identifica con la letra Q, y se mide en voltio-amperios reactivos (VAR) y fluctúa entre los componentes y la fuente de energía.

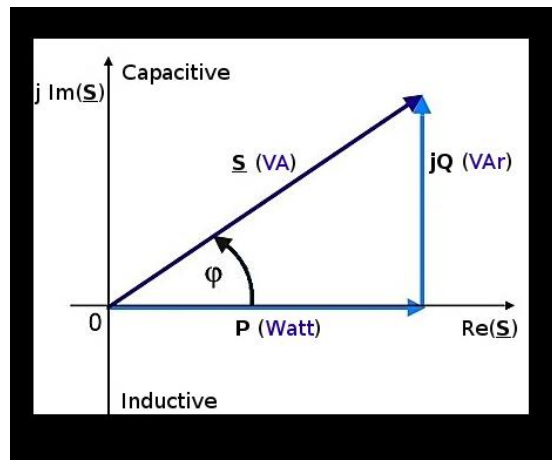
---

<sup>14</sup> Watt, unidad de potencia del Sistema Internacional de medidas

Esto significa que la potencia aparente representa la potencia total desarrollada en un circuito con la impedancia  $Z$ , la relación entre todas las potencias aludida es:

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

**Ecuación 1: Relación de potencia**



**Figura 9: Relación entre potencia aparente, real y activa.**

### Potencia aparente

Esta potencia aparente ( $S$ ) no es realmente la “útil”, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ( $\cos \varphi=1$ ), y señala que la red de alimentación de un circuito no solo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a almacenar las bobinas y los condensadores. Se mide en voltio-amperios (VA) aunque, para aludir a grandes cantidades de potencia aparente lo más frecuente es utilizar como unidad de medida el kilovoltio-amperio (KVA).

$$S = I^* \cdot V$$

**Ecuación 2: Fórmula de potencia aparente**

## Potencia activa

Potencia media consumida o potencia activa real:

Es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos y, en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es la potencia que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra P y se mide en vatios (watts) o kilovatios (KW).

$$P = I_e \cdot V_e \cdot \cos \phi = I_e \cdot Z \cdot I_e \cos \phi = I_e^2 \cdot Z \cdot \cos \phi = I_e^2 \cdot R$$

### **Ecuación 3: Potencia absorbida**

#### Potencia reactiva inductiva

Esta potencia no se consume ni se genera en el sentido estricto (el uso de los términos potencia reactiva generada y potencia reactiva consumida es una convención) y, en circuitos lineales, solo aparece cuando existen bobinas o condensadores. Por ende, es toda aquella potencia desarrollada en circuitos inductivos.

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

### **Ecuación 4: Fórmula de potencia inductiva**

#### Potencia reactiva capacitiva

Es toda aquella potencia desarrollada en un circuito capacitivo. Considerando el caso ideal de que un circuito pasivo contenga únicamente un capacitor:

$$I = \frac{U}{X_C} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

**Ecuación 5: Fórmula de potencia capacitiva**



**Figura 10: Watímetro 125 FLUKE**

### Tiempo

El tiempo es una magnitud física con la que medimos la duración o la separación de acontecimientos. El tiempo permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuros, respecto de los otros.

Su magnitud básica en el Sistema Internacional es el “segundo” cuyo símbolo es “s”. Segundo es la unidad de tiempo en el Sistema Internacional de Unidades, el Sistema Cegesimal de Unidades y el Sistema Técnico de Unidades. Un segundo es la duración de 9 192 631 770 oscilaciones de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de Cesio ( $^{133}\text{Cs}$ ) a una temperatura de 0 K<sup>-1</sup>



**Figura 11: Cronómetro digital**

### Longitud

Es un concepto métrico definible para entidades geométricas sobre el que se ha definido una distancia. Más concretamente, dado un segmento, curva o línea fina, se puede definir su longitud a partir de la noción de distancia. Sin embargo, no debe confundirse longitud con distancia ya que, para una curva general (no para un segmento recto), la distancia entre dos puntos cualesquiera de la misma siempre es inferior a la longitud de la curva comprendida entre esos dos puntos. En el Sistema Internacional, la unidad básica de longitud es el metro.



**Figura 12: Cinta métrica**

## Peso

El peso y la masa son dos conceptos y magnitudes físicas muy diferentes, aunque aún en estos momentos, en el habla cotidiana, el término peso se utiliza a menudo erróneamente como sinónimo de masa, la cual es una magnitud gravitacional.

En el Sistema Internacional el peso se expresa en unidades de fuerza, esto es en newton(N).

- $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$

**Figura 13: Unidad de masa en el Sistema Internacional**

## Definición operacional:

### Tensión

La tensión la medimos con un multímetro marca FLUKE, el cual se coloca en paralelo en las líneas de alimentación de los paneles eléctricos. Los valores se tabulan en Excel durante una semana donde y se mide la tensión a plena carga y en reposo para tener puntos comparativos de las cargas a proteger.

### Corriente eléctrica

Para medir la corriente eléctrica, hay que pasar un solo conductor a través de la sonda o bucle de medida; si se pasa más de un conductor, lo que se obtendrá será una suma vectorial de las corrientes que fluyen por los conductores y que dependen de la relación de fase entre las corrientes. Se mide por medio de una pinza amperímetro que permite realizar la medición sin necesidad de abrir el circuito en el que se requiere medir la corriente.

## Potencia

La medición de la potencia se efectúa mediante aparatos de tipo electrodinámico, formados por dos bobinas, una corriente conectada en serie y otra conectada en paralelo.

La carátula mide la potencia real en Watt, de acuerdo con la expresión  $VI \cos \phi$ .

Con este aparato, llamado watímetro, en el campo magnético creado por una bobina fija, la corriente reacciona con el campo creado por una bobina móvil sobre la cual está fijada la aguja indicadora.

El producto de la intensidad (I), y las componentes activa ( $I_a$ ), y reactiva ( $I_r$ ), por la tensión (V), da como resultado las potencias aparente (S), activa (P) y reactiva (Q), respectivamente.

Por medio de la aplicación de la ecuación 2 y los resultados de las mediciones obtendremos la potencia en Watt para el cálculo del consumo eléctrico de los equipos por proteger.

## Tiempo

El tiempo que va a utilizarse para medir las variables de tensión, corriente y potencia será de una semana, en la cual el watímetro registrará las mediciones realizada en los equipos por proteger.

## Peso

El peso que se utiliza es básicamente el proporcionado por el fabricante para poder diseñar el espesor de la losa donde van a ser colocados los equipos y también para el movimiento de ellos para usar el transporte adecuado.

## Longitud

Con la cinta métrica se pueden medir las proporciones de los equipos y el lugar en el cual van a disponerse para respetar las medidas de los planos constructivos de la planta.

## **Definición instrumental**

### Tensión

El multímetro marca FLUKE número 117 se utiliza para la medición de la tensión.

### Amperímetro

El amperímetro de pinza marca FLUKE número 376 FC se utiliza para medir los amperios a través de un conductor.

### Watímetro

El analizador FLUKE de potencia número 125 se usa para realizar tanto el análisis comparativo de potencia como el tiempo de consumo por el periodo de análisis del estudio.

### Tiempo

El tiempo se mide mediante el analizador programado por espacio de una semana para tener los datos comparativos de potencia en el tiempo y este realiza la medición minuto a minuto.

### Peso

El peso indicado en la placa, según el fabricante, para poder realizar el transporte y escoger el tipo de material para la losa.

### Longitud

La medición se realiza con cinta métrica marca Stanley de 5 metros retráctil para poder dimensionar el sitio donde estará el equipo, la cantidad de tubería y el cable por utilizar.

## Instrumentos

Se realizarán mediciones por una semana para ser tabulados en un Excel, por medio de un amperímetro de pinza como voltímetro para realizar los cálculos de consumo de energía eléctrica.

Se recopilará la información estadística de los historiales en el sistema de administración SAP para la revisión de paros de la planta ocasionados por falla de fluido eléctrico, para poder determinar el costo al reiniciar la producción y realizar la limpieza de los equipos para restablecer la producción. Se entrevistará al personal para determinar las complicaciones de un reinicio en la producción.

## **Proceso para la recolección y análisis de datos**

El análisis de los datos medidos en el sitio será tabulado en tabla Excel para dar visión de los resultados para la recomendación de los equipos por utilizar.

Se revisarán los planos eléctricos existentes de la planta para determinar dónde van a conectarse los equipos de protección, al igual que los planos constructivos de la planta para la ubicación física de los equipos.

Se usarán los manuales de instalación de las máquinas llenadoras del proveedor para obtener sus recomendaciones de instalación, como la potencia teórica consumida por los equipos, y así realizar la comparación con los datos medidos para tener un buen funcionamiento de las máquinas.

Se hará un análisis del estudio de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) para determinar la capacidad de instalación de energía eléctrica para la planta como la determinación de armónicos que puedan afectar a los equipos.

Se solicitarían manuales de los equipos de protección (UPS), que describan la potencia de los equipos que puedan proteger y la recomendación de tipos de equipos por proteger.

Las mediciones en los equipos en plena producción se realizarán en los paneles de

alimentación, tomando en cuenta la energía consumida para mantener el estado estéril.

Con los datos estadísticos de paros se realizarán los cálculos del tiempo perdido como el costo por ese tiempo de paro de los equipos de producción.

Se tomarán precauciones de seguridad como alfombra aislante y herramientas con aislante para baja tensión en los equipos de medición. Se realizarán mediciones por espacio de una semana para determinar el total de la carga por proteger y se revisarán los equipos necesarios para mantener la esterilidad y la producción de la planta.

En este lapso se determinará cual será la zona más adecuada para realizar la instalación de los equipos para proteger las llenadoras; con el análisis de las cargas se realizará la recomendación de los equipos necesarios para mantener una producción óptima en la planta.

Con base en estas mediciones se obtendrán los argumentos suficientes para poder tomar las decisiones de viabilidad del proyecto de protección de los equipos.

## Capítulo 4: Análisis de resultados

### Desarrollo

Las líneas y los equipos de producción que necesiten estar protegidos se justifican a continuación:

La línea 4 es la que lleva la mayor saturación de trabajo, ya que es la del producto estrella de la planta de no carbonatados en San Antonio de Coronado; la cual está compuesta de una máquina envasadora que llena y forma el envase, un codificador de línea que coloca la fecha de vencimiento, una empajilladora que realiza la colocación de la pajilla en el envase, una encajonadora que se encarga de reunir los envases y acomodarlos en cajas y un horno termoencogible que envuelve la caja con una película de plástico para proteger el producto. Estos equipos también tienen sus similares en las otras líneas de envasado y, de igual forma, es necesaria su protección contra los eventos de falla de fluido eléctrico.

- Pasteurizador<sup>15</sup>: Este equipo es el que alimenta a las llenadoras con el producto terminado, para que las líneas se mantengan en producción.
- Los equipos auxiliares que deben estar energizados son: compresor de aire, sistema de bombeo del producto terminado, sistema de alimentación de agua.

En la siguiente tabla podemos ver la utilización de los equipos de llenado:

Línea	Producción (CF) T1	Producción (CF) T2	Producción (CF) T3	Total Prod (CF)	%Efi Total	% Eficiencia Acumulada	Util Línea
LINEA001	364899,00	361765,00	379494,00	1106158,00	79,51	79,51	55,21
LINEA002	452259,00	434791,00	447908,00	1334958,00	80,57	80,08	64,48
LINEA003	26612,00	31574,00	30208,00	88394,00	65,31	79,16	14,29
LINEA004	567758,00	582524,00	600227,00	1750509,00	75,07	77,57	81,11
	1411528,00	1410654,00	1457837,00	4280019,00			
Acum.	0,00	0,00	0,00	0,00	77,57	77,57	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1411528,00	1410654,00	1457837,00	4280019,00			

**Tabla1. Utilización de línea de datos SAP<sup>16</sup>**

<sup>15</sup> Pasteurizador: Equipo encargado de realizar un proceso térmico a los líquidos (alimentos) para reducir los agentes patógenos.

<sup>16</sup> SAP: Sistema informático que le permite a las empresas administrar sus recursos humanos, financiero-contables, productivos, logísticos.

Como puede apreciarse en la tabla 1, tenemos la utilización de equipos a lo largo de un año; este comportamiento se mantiene, siendo la línea 4 la de mayor utilización. Esta tendencia se mantiene porque es la línea que trabaja jornadas de 24/7; con este ritmo de trabajo, cualquier paro por temas mecánicos o ajenos ocasiona que se sature la línea cuando vuelva a restablecerse la producción e inclusive se corre el riesgo de tener un desabastecimiento del producto en el mercado.

Con base en lo anterior, se puede ver que la línea 4 es la de mayor saturación y, si se decide proteger una sola línea de envasado, la 4 es la primera en considerarse y los equipos involucrados en mantener su operación. Lo anterior se da sin dejar de atender el resto de líneas de producción, ya que en las otras líneas no se corre el riesgo de desabasto, pero sí se requiere material de limpieza y aumenta el paro de equipo.

La protección de los equipos busca evitar que cualquier falla externa en el suministro eléctrico vaya a ocasionar consumo de materiales de limpieza, pérdida de papel y posible desabasto del producto en el mercado. Por este motivo se busca mantener los equipos en modo estéril y no en producción.

### **Costo por paro de equipo**

El costo de la pérdida del producto ocasionada por el paro del equipo se realiza calculando la cantidad de horas que dure la planta en restablecer la producción, se estima ese tiempo en 6 horas ya que necesita realizarse la limpieza de los equipos de producción como, llenadoras, pasteurizador y equipos de distribución.

La siguiente tabla muestra las diferentes pérdidas por materiales de producción, como materiales de limpieza, que tendría que asumir la planta por la falta del fluido eléctrico; por un solo evento, para realizar el análisis, debemos tomar en cuenta escenarios que se presentan según la programación de producción. Dependiendo de la demanda del producto, la falta de fluido eléctrico afectará a una línea de producción o a todas ya que, al ser una fluctuación, dependerá de cuáles líneas estén activas y sensibles en el momento del corte.

Para estas combinaciones debemos considerar los siguientes escenarios:

## Escenario 1

Línea de producción 4; en este escenario solo está esta línea en producción y la falla de fluido eléctrico representa el siguiente costo:

Costo por un evento de falta de fluido eléctrico en línea 4									
Descripción	Costo mano de obra	Empaque unidades	litros	Costo €/litro de producto	Costo €/litro de limpieza	Costo € empaque 330	Costo € empaque 250	Costo €/litro de agua	Total
Litros de líquido de limpieza por CIP			25		€ 2.544,00	€ 32,75	€ -	€ 1.713,99	€ 65.313,99
Bebida perdida			400	€ 211,05					€ 84.420,00
litros de agua de arrastre			500					€ 1.713,99	€ 856.995,00
Litros de agua esterilización			1250					€ 1.713,99	€ 2.142.487,50
Empaque de desperdicio		400				€ 32,75			€ 13.100,00
Tripulación detenida	€ 27.040,03								€ 162.240,18
<b>Total</b>									<b>€ 3.324.556,67</b>

**Tabla 2. Costo por un evento de falta de fluido eléctrico en línea 4**

## Escenario 2

Una línea de 250 B; esta es una condición no muy común pues la mayor producción se da en la línea 330 S, pero como la falla de fluido eléctrico o pico de corriente puede hacer que se vaya una línea o las dos, se muestra en la siguiente tabla, lo que nos podría costar.

Debemos tomar en consideración que una línea de 250 B puede ser línea 1,2 o 3, ya que, al ser del mismo desarrollo, consumen lo mismo, como en líquido de limpieza, material de envase descartado, lo único que realiza la diferencia es la cantidad de mano de obra utilizada.

Costo por un evento de falla de fluido eléctrico en una línea 250 B (1, 2, 3).									
Descripción	Costo mano de obra	Empaque unidades	litros	Costo €/litro de producto	Costo €/litro de limpieza	Costo € empaque 330	Costo € empaque 250	Costo €/litro de agua	Total
Litros de líquido de limpieza por CIP			25		€ 2.544,00	€ -	€ 26,81	€ 1.713,99	€ 65.313,99
Bebida perdida			400	€ 211,05					€ 84.420,00
litros de agua de arrastre			500					€ 1.713,99	€ 856.995,00
Litros de agua esterilización			1250					€ 1.713,99	€ 2.142.487,50
Empaque de desperdicio		400				€ 26,81			€ 10.724,00
Tripulación detenida	€ 27.040,03								€ 162.240,18
<b>Total</b>									<b>€ 3.322.180,67</b>

**Tabla 3. Costo por un evento de falla de fluido eléctrico en una línea 250 B (1, 2, 3)**

### Escenario 3

En este escenario tenemos 2 líneas 250 ml en función y la línea 330 ml no; aunque no es tan común debe tomarse en consideración.

Costo evento por falla de fluido eléctrico en 2 líneas de 250 ml											
Descripción	Costo mano de obra	Empaque unidades		litros		Costo €/litro de producto	Costo €/litro de limpieza	Costo € empaque 330	Costo € empaque 250	Costo €/litro de agua	Total
		Línea 1	Línea 2	Línea 1	Línea 2						
Litros de líquido de limpieza por CIP				25	25		€ 2.544,00	€ -	€ 26,81	€ 1.713,99	€ 128.913,99
Bebida perdida				400		€ 211,05					€ 84.420,00
litros de agua de arrastre				500							€ 856.995,00
Litros de agua esterilización				1250							€ 2.142.487,50
Empaque de desperdicio		400	400						€ 26,81		€ 21.448,00
Tripulación detenida	€ 27.040,03										€ 324.480,36
										Total	€ 3.558.744,85

**Tabla 4. Costo por un evento por falla de fluido eléctrico en 2 líneas de 250 ml**

### Escenario 4

Tenemos en función la línea 330 ml y una línea 250 ml; se realizan en formato de 330 S y otra en formato de 250 B<sup>17</sup>, ya que 330 S se produce en la línea 4 y 250 B en la línea 1, 2 y 3; como la producción en la línea 4 es 24 horas los 7 días de la semana y es la que tiene mayor saturación de utilización, la salida del circuito de alimentación nos afecta en el momento en que esta falla de fluido eléctrico se presente.

En las tablas 2 y 3 podemos apreciar que el costo es muy similar, ya que la diferencia básicamente está en el costo de papel entre línea 1 y 4, y los costos más representativos los tenemos en agua y líquido de limpieza. Cuando son 2 líneas de producción en formato 250 ml lo que se incrementa es el líquido de limpieza, el papel, la mano de obra y el agua del enjuague final; el resto de consumos por evento de falla de fluido eléctrico son comunes, como podemos apreciar en la siguiente tabla:

<sup>17</sup> El formato 1000 Slim y 250 Base son las identificaciones de las llenadoras envasadoras por parte del proveedor que indica su grado de desarrollo como el tipo de empaque por formar por el equipo.

Evento de línea 250 ml y línea 330 ml por falla de fluido eléctrico											
Descripción	Costo mano de obra	Empaque unidades		litros		Costo €/litro de producto	Costo €/litro de limpieza	Costo € empaque 330	Costo € empaque 250	Costo €/litro de agua	Total
		Línea 250 ml	Línea 330 ml	Línea 250 ml	Línea 330 ml						
Litros de líquido de limpieza por CIP				25	25		€ 2.544,00	€ 32,75	€ 26,81	€ 1.713,99	€ 128.913,99
Bebida perdida				400	400	€ 211,05					€ 168.840,00
litros de agua de arrastre				500	500					€ 1.713,99	€ 1.713.990,00
Litros de agua esterilización				1250	1250					€ 1.713,89	€ 4.284.975,00
Empaque de desperdicio		400	400					€ 13.100,00	€ 10.724,00		€ 23.824,00
Tripulación detenida	€ 55.234,80										€ 331.408,80
<b>Total</b>											<b>€ 6.651.951,79</b>

**Tabla 5. Evento de línea 250 ml y línea 330 ml por falla de fluido eléctrico**

En este escenario observamos que el costo de una línea 250 ml con la línea de 330 ml es mayor ya que hay más cantidad de líquido de limpieza como mano de obra en este tiempo de paro por la falta de fluido eléctrico.

### Escenario 5

En este escenario tendremos 2 líneas de 250 ml detenidas y la línea 330 ml.

costo de pérdida por falla de fluido eléctrico 6 horas de paro 2 líneas 250 ml y 330ml											
Descripción	Costo mano de obra	Empaque unidades		litros		Costo €/litro de producto	Costo €/litro de limpieza	Costo € empaque 330	Costo € empaque 250	Costo €/litro de agua	Total
		2 Líneas 250 ml	Línea 330 ml	2 Líneas 250 ml	Línea 330 ml						
Litros de líquido de limpieza por CIP				50	25		€ 2.544,00	€ 32,75	€ 26,81	€ 1.713,99	€ 192.513,99
Bebida perdida				400	400	€ 211,05					€ 168.840,00
litros de agua de arrastre				500	500					€ 1.731,99	€ 1.713.990,00
Litros de agua esterilización					1250					€ 1.713,99	€ 4.284.975,00
Empaque de desperdicio		800	400					€ 13.100,00	€ 21.448,00		€ 34.548,00
Tripulación detenida	€ 55.234,80										€ 331.408,80
<b>Total</b>											<b>€ 6.726.275,79</b>

**Tabla 6. Costo de pérdida por falla de fluido eléctrico 6 horas de paro 2 líneas 250 ml y 330ml**

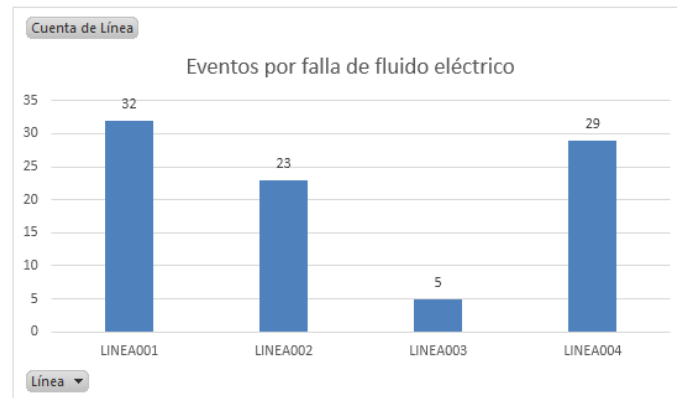
Como podemos apreciar, la tabla 5 nos muestra las pérdidas que tenemos por un solo evento por falta de fluido eléctrico, dependiendo de la programación, como se muestra en la tabla 6, tenemos costo por 2 líneas de 250 ml y una de 330 ml.

Para tener más concreta la información, se muestra en la tabla 7 un resumen de estos costos con las combinaciones mencionadas en los diferentes escenarios:

Escenarios	resumen de costo de combinaciones por un evento de falla de fluido eléctrico	
Escenario 1	Línea 330 S Línea 4	₡ 3.324.556,67
Escenario 2	Línea 250 B (1, 2, o 3)	₡ 3.322.180,67
Escenario 3	Líneas 1 y 2(250 ml)	₡ 3.642.730,36
Escenario 4	Líneas 1 y 4 (250 ml y 330ml)	₡ 6.651.951,79
Escenario 5	Líneas 1,2 y 4 ( 2 líneas 250 ml y 1 línea 330 ml)	₡ 6.726.275,79

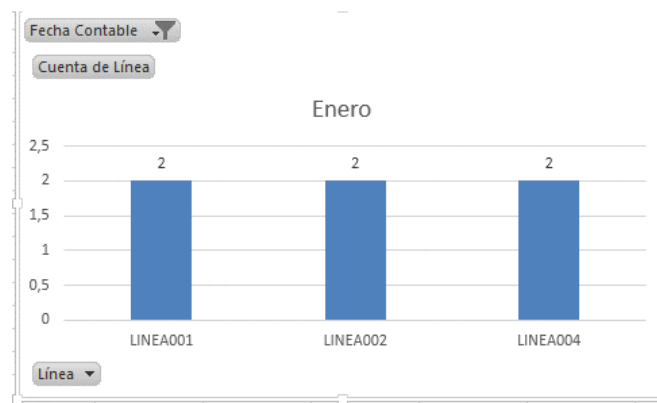
**Tabla 7. Resumen de costo de combinaciones por un evento de falla de fluido eléctrico**

Como podemos observar, el costo por un evento de falla de fluido eléctrico puede llevar a un costo considerable ya que se pierde producto, papel, agua y se incurre en gastos como líquido de limpieza y mano de obra que va a estar ociosa esperando que se restablezcan las condiciones de esterilidad de la línea y así reanudar la producción. La diferencia que podemos observar entre tener 2 líneas de envasado como es una línea 250 ml o línea 1 y la línea 330 ml o línea 4 es mayor que tener 2 líneas 250 ml, ya que el líquido de limpieza para las 250 ml es el mismo, al igual que la cantidad de producto perdido o desechado, caso contrario es tener la combinación de una línea 250 ml y una 330 ml, pues en este caso sí hay mayor cantidad de líquido de limpieza por utilizar y más mano de obra ociosa. La cantidad de eventos presentados en el año 2017 fueron 89 los cuales vamos a observar su distribución por equipo en el gráfico 1, esto nos hace ver que con las condiciones mencionadas en la tabla 6, ya que podemos calcular el costo anual en los que se ha tenido eventos por falta de fluido eléctrico.

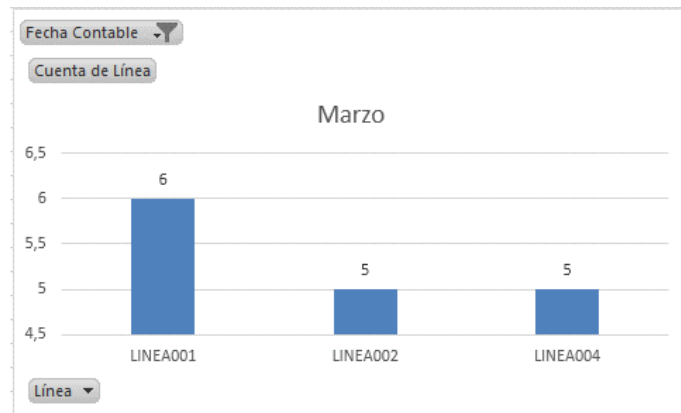


**Gráfico 1. Eventos por falla de fluido eléctrico en un año**

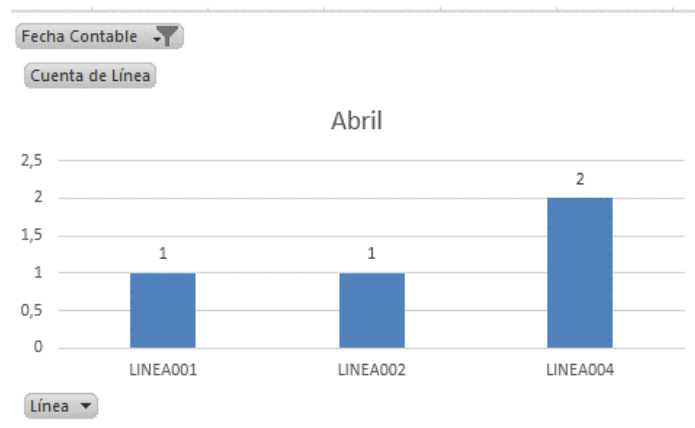
En este gráfico podemos apreciar la distribución de los 89 eventos por línea afectada; en los gráficos siguientes vamos a observar las combinaciones que han sido afectadas como habíamos indicado en las tablas de la 1 a la 6 de costos, por paro de producción.



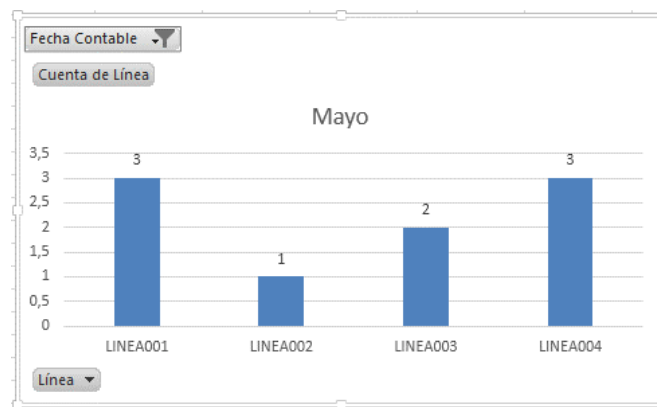
**Gráfico 2. Eventos, enero**



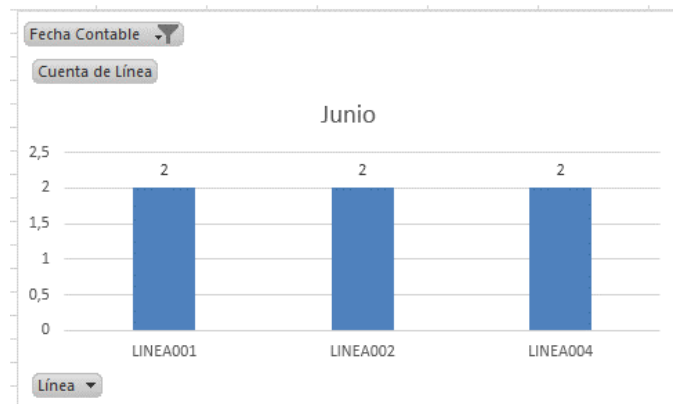
**Gráfico 3. Eventos, marzo**



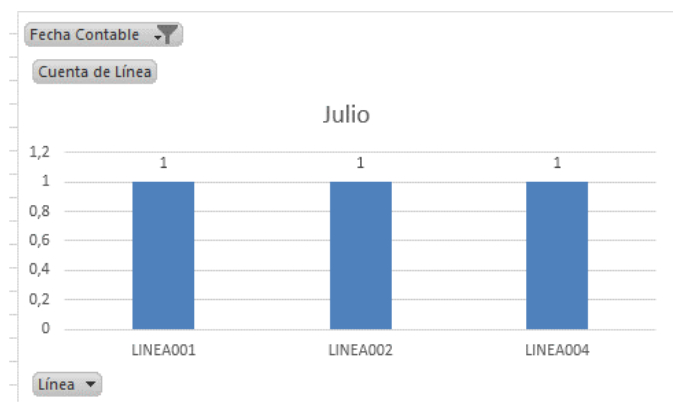
**Gráfico 4. Eventos, abril**



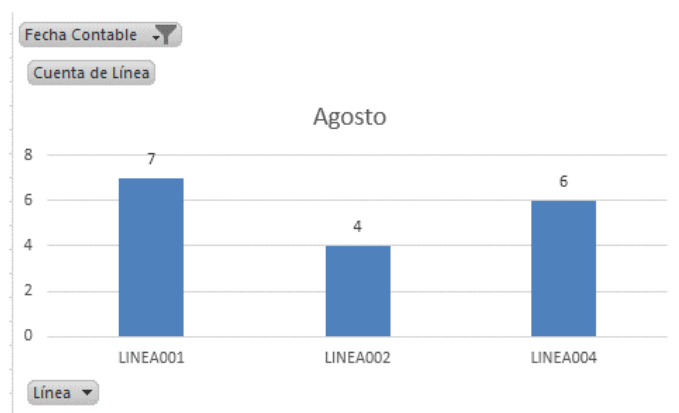
**Gráfico 5. Eventos, mayo**



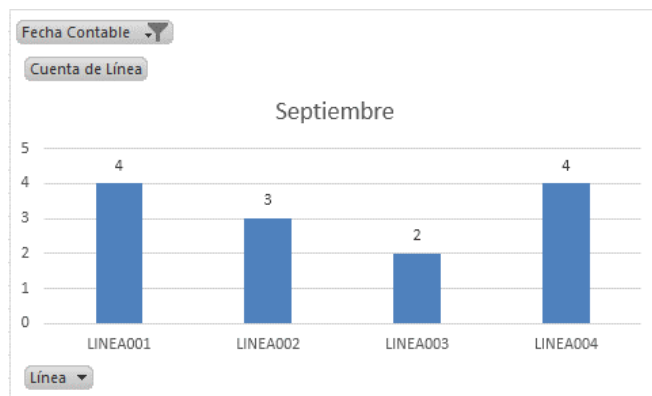
**Gráfico 6. Eventos, junio**



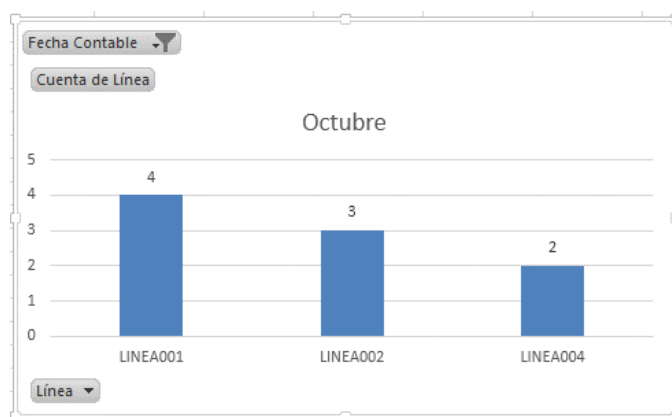
**Gráfico 7. Eventos, Julio**



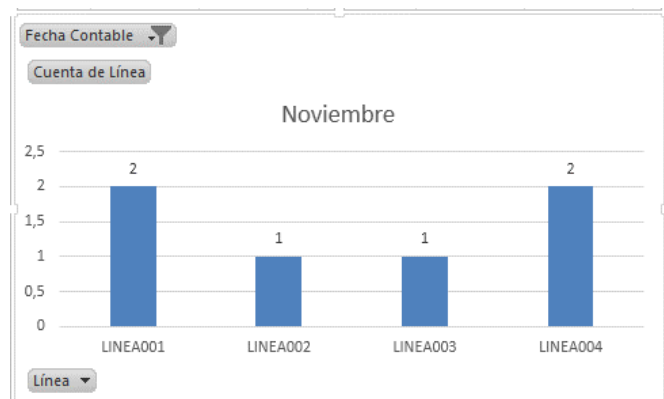
**Gráfico 8. Eventos, agosto**



**Gráfico 9. Eventos, septiembre**



**Gráfico 10. Eventos, octubre**



**Gráfico 11. Eventos, noviembre**

Con esta información calculamos el costo que representan estos paros para la planta de envasado. A continuación se desglosa lo que aporta, en los diferentes escenarios, cada

línea de producción.

Para los escenarios 1 y 2, tenemos que el gasto es del 100% de la línea de envasado que este en ese momento, ya que estamos suponiendo que solo una línea va a trabajar ya sea una 250 ml o la línea 330 ml.

Para el escenario 3, sí tenemos un incremento ya que son 2 líneas de 250 ml y lo que se aporta es un porcentaje con respecto a la otra línea del mismo formato; la diferencia radica básicamente en la mano de obra y el papel de consumo (no se ha dado la línea 3 sola o con una línea 250 ml, la 1 o la 2):

Escenario 3	
1 Línea	2 Línea
50%	50%

**Tabla 8. Porcentaje de aporte de 2 líneas 250 ml**

En este escenario lo que se indica es que cualesquiera de las líneas 1, 2 y 3 y que trabajen 2 líneas juntas cuando haya una falla en el fluido eléctrico, es el 50% de cualesquiera de las 3 líneas y la otra aporta el 50% restante.

En el escenario 4, donde tenemos una línea 250 ml y una 330 ml podemos apreciar que el aporte de ambas representa casi 50% cada una:

Escenario 4	
Línea (1,2 o 3)	Línea 4
49,96%	49,99%

**Tabla 9. Aporte de una línea 250 ml y una 330 ml**

Este aporte de una línea 250 ml y una 330 ml se da porque se tiene equipos diferentes como pasteurizador y mano de obra en una y otra línea y el costo del papel es diferente; por eso casi el 50% se representa para cada una.

En el escenario 5, tenemos una distribución del costo más diversa ya que actúan 2 líneas de 250 ml y una línea 330 ml:

Escenario 5		
Línea 1	Línea 2	Línea 4
25,29%	25,29%	49,42%

**Tabla 10. Escenario 5 distribución de participación de líneas de producción**

Con estos escenarios podemos ver los aportes de las líneas que están en producción y determinar cuánto cuestan esos paros por falla de fluido eléctrico por mes en los diferentes escenarios; que a continuación podemos observar:

Tabla de eventos por mes					
Enero					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₪ 3.443.762,65
Línea 2					₪ 3.443.762,65
Línea 4					₪ 6.617.426,27
Total de escenario					₪ 13.504.951,57
Marzo					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1	₪ 3.322.180,67				₪ 8.610.012,51
Línea 2					₪ 8.610.012,57
Línea 4					₪ 16.544.729,93
Subtotal					₪ 33.764.754,95
Total de escenario					₪ 37.086.935,62
Abril					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₪ 1.721.881,33
Línea 2					₪ 1.721.881,33
Línea 4		₪ 3.324.556,67			₪ 3.308.713,14
Subtotal					₪ 6.752.475,79
Total de escenario					₪ 10.077.032,46
Mayo					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₪ 5.165.643,98
Línea 2					₪ 5.165.643,98
Línea 4					₪ 9.926.139,41
Total de escenario					₪ 20.257.427,37
Junio					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₪ 3.443.762,65
Línea 2					₪ 3.443.762,65

**Tabla 11. Eventos por mes, 2017, por falla de fluido eléctrico**

Continuación de tabla 11					
Línea 4					₡ 6.617.426,27
Total de escenario					₡ 13.504.951,58
Julio					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₡ 1.721.731,33
Línea 2					₡ 1.721.731,33
Línea 4					₡ 3.308.713,14
Total de escenario					₡ 6.752.475,79
Agosto					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1	₡ 3.322.180,67				₡ 10.331.893,84
Línea 2					₡ 10.331.893,84
Línea 4					₡ 19.853.443,06
Subtotal					₡ 40.517.230,74
Total de escenario					₡ 43.839.411,41
Septiembre					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₡ 6.887.525,31
Línea 2					₡ 6.887.525,31
Línea 4					₡ 13.234.852,55
Total de escenario					₡ 27.009.903,16
Octubre					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1	₡ 3.322.180,67	₡ 1.779.372,00			₡ 5.101.552,67
Línea 2		₡ 1.779.372,43			₡ 1.779.372,43
Línea 4					₡ 6.503.838,31
Subtotal					₡ 13.273.139,40
Total de escenario					₡ 20.154.064,92
Noviembre					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Línea 1					₡ 3.443.762,65
Línea 2					₡ 3.443.762,65
Línea 4					₡ 6.506.102,64
Total de escenario					₡ 13.504.951,58
Total de escenario	₡ 9.966.542,01	₡ 6.883.301,10	₡ 0	₡ 0	₡ 188.842.262,36

**Tabla 11. Eventos por mes 2017 por falla de fluido eléctrico**

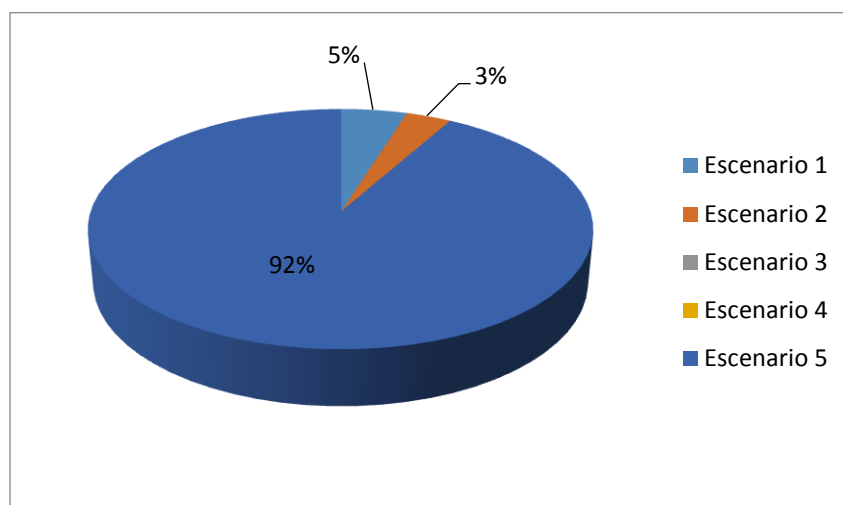
En la tabla 11 se muestra que en el mes de marzo se tuvieron más eventos por falla de fluido eléctrico de los cuales se presentaron 1 escenario uno y 5 escenarios cinco.

Como en la tabla 11, se tabularon los datos por tipo de escenario mes a mes se realiza la siguiente tabla resumen:

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario total
₡ 9.966.542,01	₡ 6.883.301,52	₡ 0	₡ 0	₡ 188.842.261,93	₡ 205.692.105,46

**Tabla 12. Resumen de costo de escenario por falla de fluido eléctrico**

El costo por el escenario 5 representa el 92% del total del costo anual mientras el escenario 2, el 3% y el escenario 1, el 5%, el gráfico 12 nos muestra con porcentajes la distribución de los escenarios por fallo de fluido eléctrico.



**Gráfico 12. Distribución porcentual de escenarios por falla de fluido eléctrico**

También, en la siguiente tabla resumen se tiene el costo por línea:

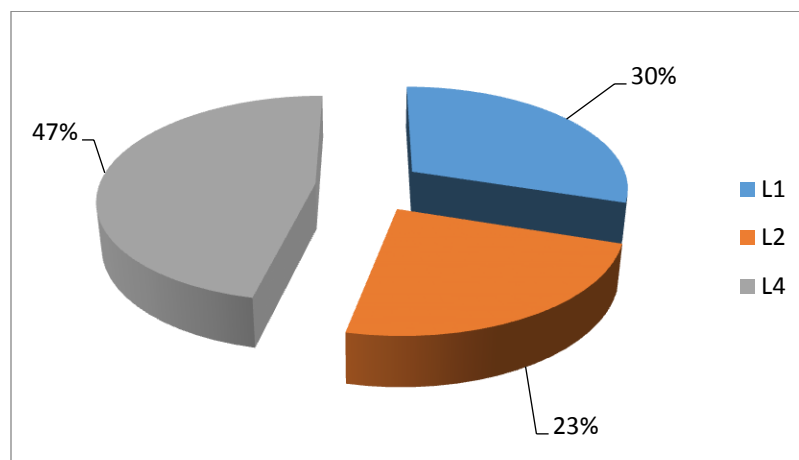
L1	L2	L4	Total de líneas
₡ 61.617.442,92	₡ 48.328.721,16	₡ 95.745.941,38	₡ 205.692.105,46

**Tabla 13. Costo por falla de fluido eléctrico en líneas**

Esta tabla nos dice que los eventos en la línea 1; pero debemos hacer la salvedad que las líneas 1, línea 2 y línea 3 representan el total del consumo que sería ₡109 834 840 ,44 y la línea 4 por si sola son los ₡95 857 265,02.

Estos datos nos indican que debemos proteger los equipos de producción para evitar que se tenga una pérdida representativa por eventos de fallo de fluido eléctrico que pueden darse por situaciones naturales: lluvia, caída de árboles en las líneas de transmisión: causado por el hombre, como choques automovilísticos.

También la diferencia entre las líneas 1 y 2 se debe a la programación de envasado, en donde, según la demanda, trabaja una línea 250 ml, ya sea la línea 1 o la línea 2 con la línea 4, en el gráfico 13 tenemos la distribución porcentual de las líneas de producción que participaron en los diferentes escenarios:



**Gráfico 13. Distribución porcentual de participación de líneas en los diferentes escenarios**

Bajo estas condiciones, los equipos por proteger se presentan en la siguiente tabla:

Línea 4	Línea 1	Línea 2
Llenadora de envasado	Llenadora de envasado	Llenadora de envasado
Codificador	Codificador	Codificador
Empajilladora	Empajilladora	Empajilladora
Encajonadora	Encajonadora	Encajonadora
Tunel thermo-encogible	Tunel thermo-encogible	Tunel thermo-encogible

**Tabla 14. Línea de producción con sus respectivos equipos**

Estos equipos son los que se requieren para que el proceso productivo continúe y no tengamos la pérdida de dinero que se genera al detener la planta productiva y poder reiniciar con la producción nuevamente. Para realizar la protección de estos equipos es

necesario obtener el valor teórico de la potencia, que es el que indica el proveedor como el valor real medido en sitio; además es necesario que se protejan los servicios auxiliares ya que forman una de las partes vitales para abastecer las llenadoras, ya sea de aire, producto, vapor y enfriamiento. Con estos servicios y líneas de producción podemos mitigar la pérdida mencionada.

### Consumo eléctrico de equipos por proteger

Las siguientes tablas y datos de consumo eléctrico son teóricos; con los valores suministrados por el proveedor cuando se entregó el equipo a la planta. Se realizará una comparación con los valores medidos en sitio para poder seleccionar los equipos de protección más cercana a la necesidad real de la planta.

Equipos	Capacidad	
	KVA	KW
<b>Línea de envasado</b>		
Llenadora	63,16	60,00
Empajilladora	7,89	7,50
Encartonadora	9,47	9,00
Horno	14,74	14,00
Transp + acumulador	6,32	6,00
<b>Total</b>	<b>101,58</b>	<b>96,50</b>

**Tabla 15. Consumo eléctrico teórico de equipos de envasado**

Como se aprecia el consumo teórico según el proveedor en la línea de envasado es de 96.5 KW; Estos son los necesarios para que la llenadora se mantenga estéril y lista para producir. Esta carga puede variar en el tiempo de producción, ya que tenemos paros en la línea por colocación de insumos: papel, pajillas, cartón e inclusive plástico que es lo que el operador de la línea debe suministrar a la maquinaria para que trabaje bien.

Con esta información esperaríamos encontrar equipos de protección de al menos 100 KW que ayuden a soportar la carga de los equipos (llenadoras) para que se mantengan estériles y los equipos auxiliares para iniciar la producción. Esta carga va a compararse con la real

para tener un mejor criterio en la escogencia de los equipos. Se necesita que los equipos auxiliares también se mantengan en operación para alimentar los equipos de producción. El suministro de aire, el compresor de 100 HP, el sistema de enfriamiento y los pasteurizadores que se muestran en la tabla 16.

TORRES ENFRIAMIENTO		
	KVA	KW
Torre#1	0,79	0,75
TRATAMIENTO AGUA		
Bombas	38,95	37,00
COMPRESORES		
KAESER	78,48	74,56
CHILLER		
CHILLER	55,79	53,00
CALDERAS		
Gasoleo	13,68	13,00
JARABES		
Past. Drink	17,89	17,00
Past. Thermaline	15,79	15,00
Bombas	22,11	21,00

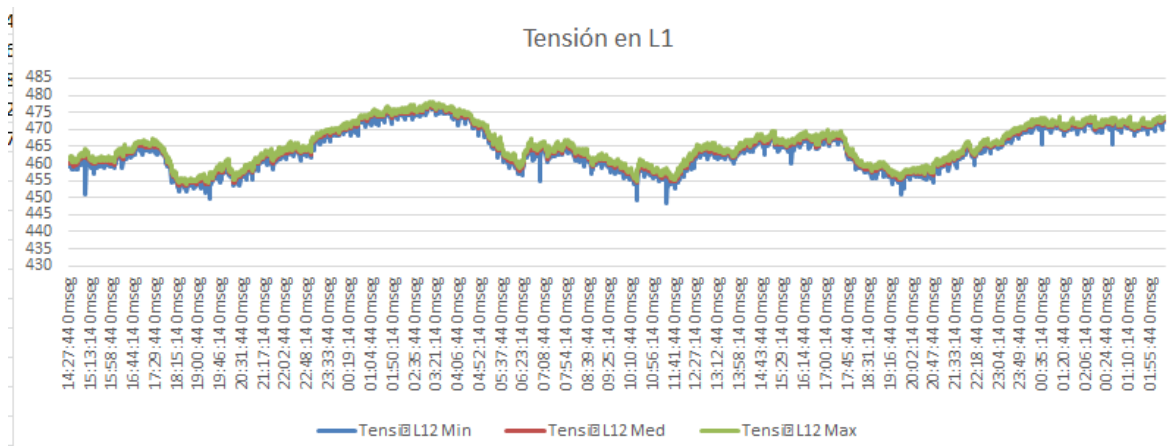
**Tabla 16. Potencia de servicios auxiliares para mantener los equipos estériles**

Como puede apreciarse en las tabla 15 y 16, tenemos varios equipos para respaldar y debemos tomarlos en consideración para seleccionar su ubicación.

### **Medición de líneas de alimentación**

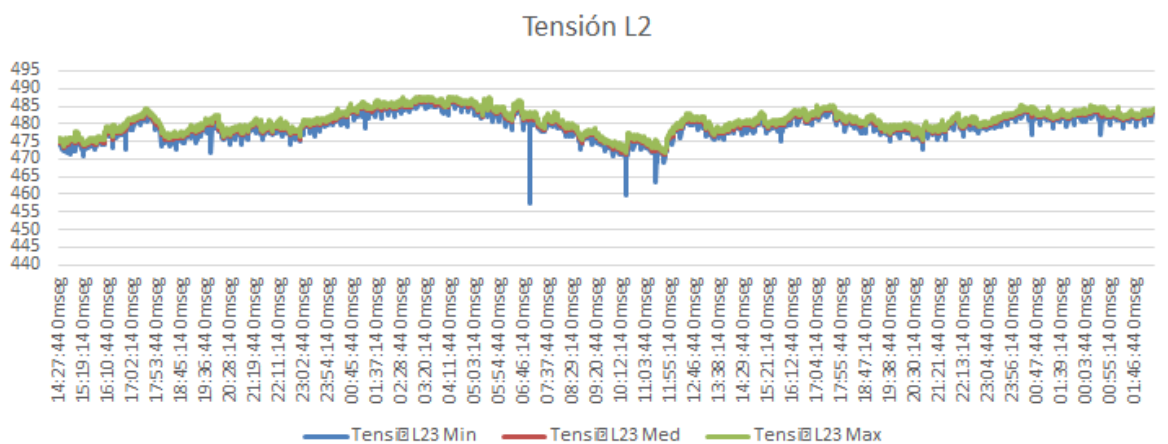
Se realiza la medición de las líneas de alimentación de los tableros de las líneas de envasado para determinar fluctuaciones en la tensión, corriente, potencia y frecuencia del sistema trifásico de la planta Coronado.

En el Gráfico 14, podemos apreciar las mediciones de la línea de alimentación 1 donde se muestra que no hay fluctuaciones considerables en la alimentación de los equipos de producción:



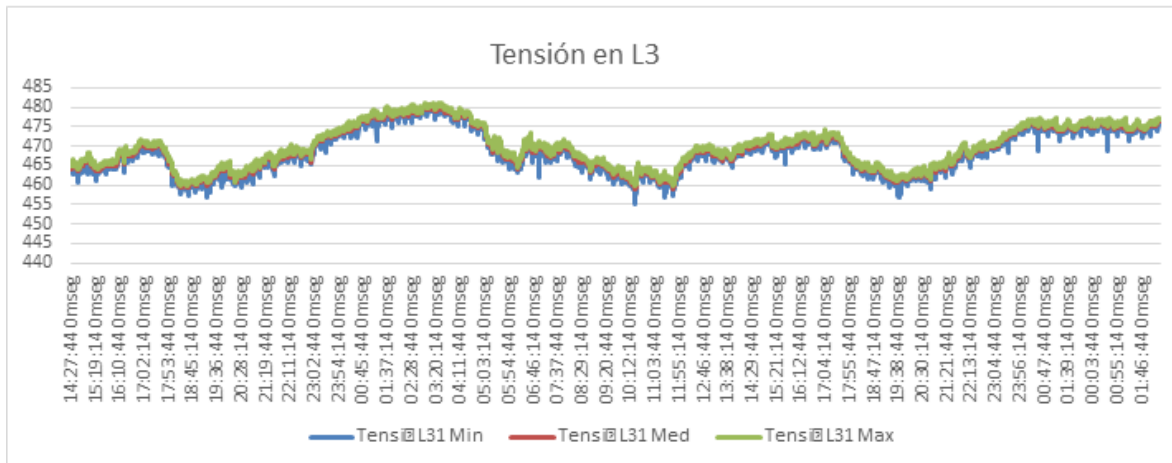
**Gráfico 14. Tensión en línea de alimentación 1**

Los valores de la tensión se mantienen en un rango mínimo aproximado de 464 voltios y un máximo de 465 voltios; en esta banda de trabajo los equipos funcionan sin ningún problema por desbalance en la alimentación. En el Gráfico15 apreciamos el comportamiento de la línea de alimentación 2:



**Gráfico 15. Tensión de línea alimentación 2**

El comportamiento de la tensión en la línea de alimentación 2 es el siguiente: presenta valores de 479 voltios mínimos y 480 voltios de valor máximo esto es, 10 voltios más que los valores de la línea de alimentación 1.



**Gráfico 16. Tensión en línea de alimentación 3**

En este Gráfico de la tensión en la línea de alimentación 3 podemos observar que el valor de tensión mínimo es de 468 voltios y el mayor de 470 voltios. Colocando estos valores en una tabla resumen, se puede realizar el cálculo de desbalance de las líneas de alimentación a los equipos de producción; en la tabla 17 se muestran los promedios de las línea de alimentación:

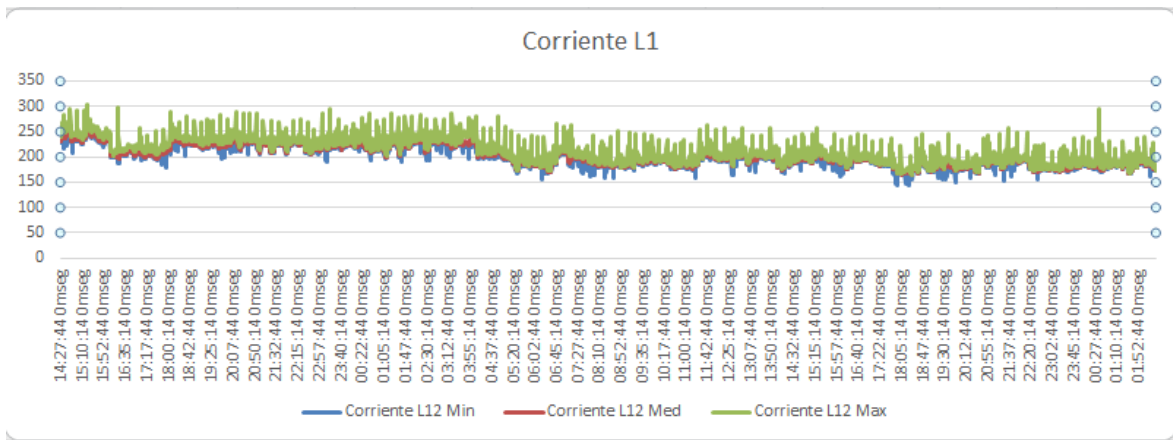
Resumen de medición de tensión				
Línea	Mínima, voltios	Media, voltios	Alta, voltios	Promedio, voltios
L1	464,2213781	464,9912339	465,6178673	464,9434931
L2	479,7234986	480,4160117	480,9684773	480,3693292
L3	468,7086018	469,4129605	469,9904682	469,3706769
				471,5611664

**Tabla 17. Resumen de medición de tensión entre líneas de alimentación**

Esta tabla muestra el valor de las tensiones promedio de las líneas de alimentación de los equipos de producción, las cuales presentan un desbalance de 1.86%, lo que es muy aceptable para la alimentación de la planta<sup>18</sup>.

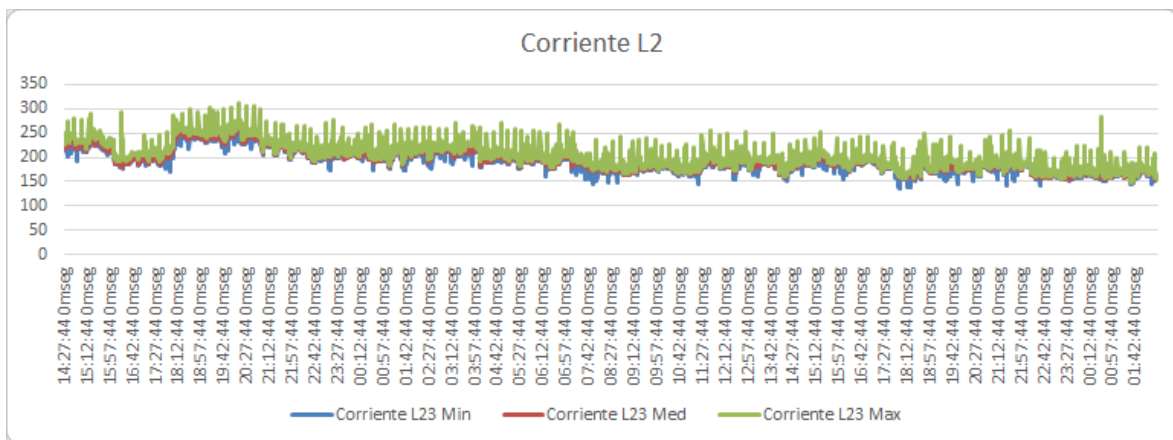
A continuación se ve el análisis para las corrientes de línea, en las 3 fases de alimentación:

<sup>18</sup> NEC, artículo 100.



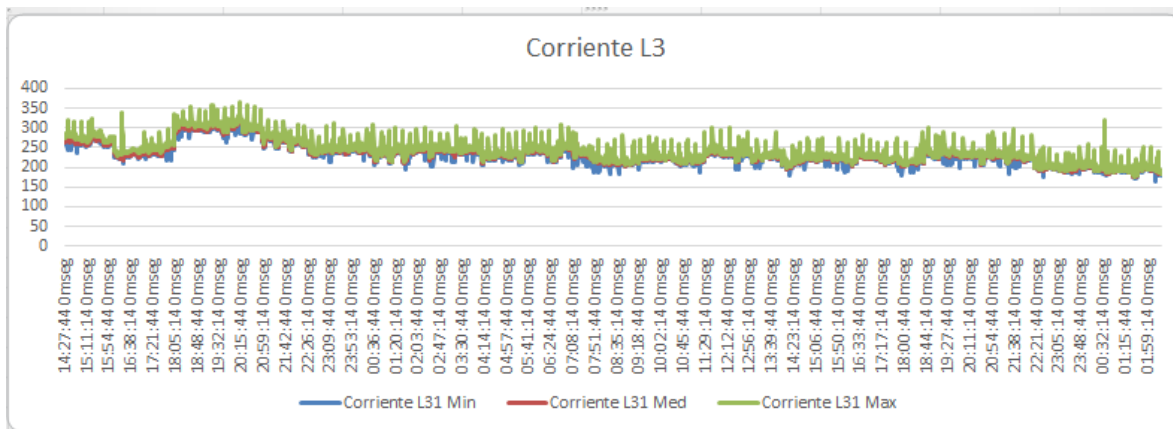
**Gráfico 17. Corriente línea de alimentación L1**

El valor de la corriente mínima es de 199 amperios y la máxima de 211 amperios en la línea de alimentación 1.



**Gráfico 18. Corriente de alimentación L2**

En el gráfico 18 observamos el comportamiento de la línea de alimentación 2; su valor mínimo es de 191 amperios y su máximo de 204 amperios.



**Gráfico 19. Corriente de alimentación L3**

En esta línea sí puede apreciarse que los valores de consumo mínimo y máximo son de 230 amperios y de 241 amperios, y que hay una carga mayor en esta línea con respecto a las anteriores.

Resumen de medición de corrientes				
Línea	Mínima, amperios	Media, amperios	Alta, amperios	Promedio, amperios
L1	199,921778	203,6301278	211,7814462	205,1111173
L2	191,9181271	195,8272088	204,1861544	197,3104968
L3	230,6070762	234,2646031	241,8589204	235,5768666
				212,6661602

**Tabla 18. Resumen de medida de corrientes de línea**

La Tabla 18 muestra una recarga en la línea de alimentación 3, lo cual causa un desbalance de líneas alrededor del 10%.

Con estos valores podemos apreciar que el suministro de alimentación de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz es muy constante y que, a nivel de compañía, el desbalance no es tan grande, pero sí hay que poner atención a la recarga de circuitos.

En la Tabla 19 se presenta el valor de potencia de los equipos por proteger para poder elegir la potencia de los equipos de protección:

Consumo de líneas de producción y equipos auxiliares	
Equipo	KW
Línea 1	68,19
Línea 2	70,55
Línea 3	40,95
Línea 4	66,2
Enfriamiento	38,93
Compresor	107,62
Jarabes	24,27
Caldera	57,6

**Tabla 19. Consumo real de equipos por proteger**

En esta tabla se nos muestra, como es de esperar, que el equipo de mayor consumo sea el compresor de aire; este sería uno de los equipos con mayor potencia. La tabla es una guía para escoger el equipo de protección adecuado.

#### Ubicación de futuros equipos de protección

La definición de la ubicación de los equipos de protección para las máquinas de Producción. Tiene que ver con la distancia con los equipos por proteger; debe ser la mínima, para disminuir los costos de instalación.

Para la alimentación de los equipos de producción nos basaremos en el Código Nacional de Electricidad (NEC<sup>19</sup>, por sus siglas en español); estas normas se enfocan en la seguridad humana y luego en la propiedad.

En el análisis del cálculo de cargas por proteger tenemos la siguiente tabla recomendada para los cables de alimentación para los equipos de protección, interruptores y tubería de protección a los cables.

<sup>19</sup> NEC, Código eléctrico nacional; normas para instalación eléctrica en Costa Rica, decreto No. 36979-MEIC, que oficializa el Reglamento del Código Eléctrico.

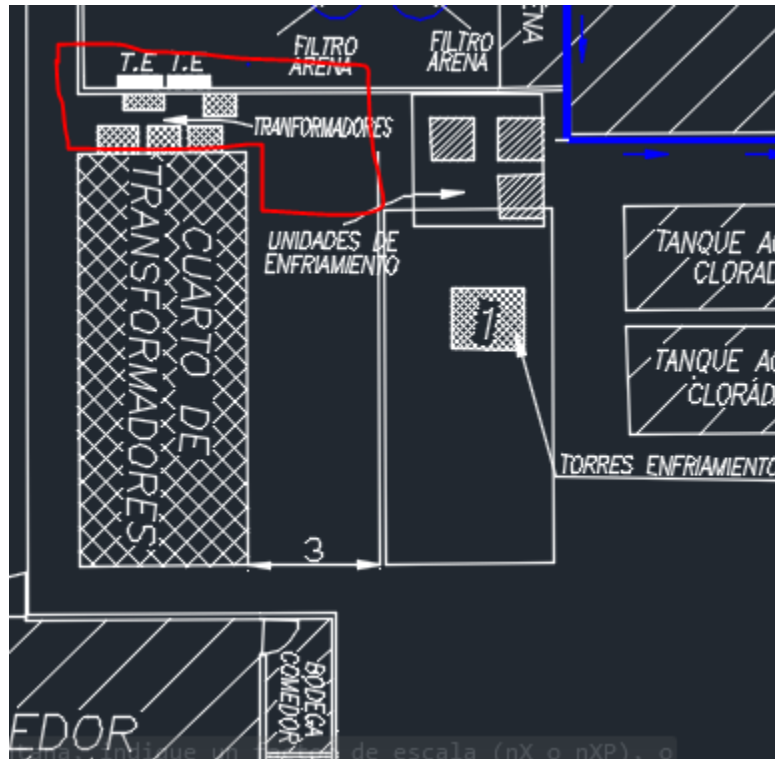
Equipo	KW	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)	Tipo de cable THHW	Cantidad de conductores	Tipo de tubería EMT pulgadas	Tierra	Interruptor (amperios)
Línea 1	68,19	400	170,475	2/0	5	2	6	200
Línea 2	70,55	400	176,375	2/0	5	2	6	200
Línea 3	40,95	400	102,375	2/0	5	2	6	200
Línea 4	66,2	400	165,5	2/0	5	2	6	200
Enfriamiento	38,93	460	84,6304348	4	5	1 3/4	8	90
Compresor	107,62	460	233,956522	4/0	5	2 1/2	4	250
Jarabes	24,27	460	52,7608696	8	5	1	10	60
Caldera	57,6	460	125,217391	2	5	1 1/2	10	150

**Tabla 20. Consumo real de los equipos con las especificaciones de instalación**

Los cálculos se referencian en los siguientes apartados del código NEC:

- Código NEC, apartado 240.6: Interruptores de protección.
- Código NEC, tabla 250.122: Análisis de tierra.
- Código NEC, tabla 310.13: Aislamiento de conductores.
- Código NEC, tabla 310.16: Calibre de conductor.

Con estas recomendaciones de ubicación física en la planta de los equipos de protección, se recomienda su cercanía a los paneles principales de alimentación a las líneas de producción; esta es una ubicación estratégica para poder trasladar los equipos de producción de forma más fácil y segura.



**Figura 14. Ubicación en plano de planta del equipo de protección**

Como se muestra en la Figura 14, la ubicación de los equipos de protección se resalta en rojo ya que ahí es donde está la alimentación principal de las máquinas llenadoras, como la alimentación al compresor y pasteurizador; por estar centralizadas las cargas se decide que esa sea esta la ubicación más estratégica para este uso.

Con base en la información anterior, podemos demostrar que la potencia de los equipos de protección (UPS) deben ser igual o mayor que la potencia de los equipos por proteger.

Equipo	KW	Potencia recomendada
Línea 1	68,19	100 KVA
Línea 2	70,55	100 KVA
Línea 3	40,95	100 KVA
Línea 4	66,2	100 KVA
Enfriamiento	38,93	80 KVA
Compresor	107,62	150 KVA
Jarabes	24,27	40 KVA
Caldera	57,6	80 KVA

**Tabla 21. Potencia recomendada para los equipos de protección**

Se determinó el costo por paro de equipo, en la tabla 13. En ella se muestra la afectación por falla de fluido eléctrico. En el 2017, se tuvieron 89 eventos; estas afectaciones nos muestran que la línea 4 es la más importante ya que envasa uno de los principales productos de la planta y las líneas de 250 ml (1,2,3) también es necesario protegerlas ya que representan un costo considerable en el consumo de insumos de limpieza y de mano de obra.

Con base en las mediciones de corriente y tensión y los consumos en la Tabla 21, se muestran los equipos necesarios por proteger, para que se mantengan listos para producir y no pierdan la esterilidad. En la Tabla 21 aparece también la potencia recomendada de los equipos protectores.

La carga de las máquinas envasadoras y los equipos necesarios para mantenerlas en modo estéril se determina con las potencias recomendadas por el proveedor y los consumos tomados en el sitio, tratando de tomar en cuenta cualquier sobrecarga de potencia que pueda darse y así suplir de forma ininterrumpida la programación de producción.

Teniendo en cuenta las distancias, la ubicación de los equipos se realiza tomando en consideración la cercanía de los equipos por proteger con el panel de alimentación principal, según la Figura 14, y así evitar una caída de tensión mayor. En los anexos se demostrarán dos ubicaciones más consideradas para la colocación de los equipos; estas se

verán afectadas por costos de instalación.

En la Tabla 20 podemos apreciar los cálculos realizados para obtener las corrientes y voltajes para poder escoger el tipo de conductor.

Con estos datos podemos realizar el cálculo de caída de tensión; que el NEC<sup>20</sup> nos indica que el porcentaje de desbalance en los alimentadores principales debe ser 5%. Debemos tener claro que esta caída de tensión indica que hay que prever que el sistema sea más eficiente.

Para la posición que se sugiere para los equipos de protección, desarrollamos la siguiente operación para demostrar la caída de tensión:

$$\Delta V_{3\phi} = \left( \frac{2 * R * L * I_{3\phi}}{1000} \right) * 0.866$$

**Ecuación 6. Fórmula para la caída de tensión**

Donde:

L: distancia de la caja en pies

R: resistividad del conductor, tabla 8 NEC.

I: corriente trifásica por cable.

Según la Tabla 20 tenemos los siguientes conductores recomendados 2/0, 4, 2, 8, y la distancia que tenemos del tablero de alimentación principal a los equipos de protección es de 15 metros; así se desarrolla la Ecuación 6:

L= 15 metros, esto es, 49.21 pies.

R= 2/0, según tabla 8 NEC, 0.101Ω

I= 170 amperios.

$$\Delta = \frac{2 * 0.101 * 49.21 * 170}{1000} * 0.866$$

---

<sup>20</sup> NEC, 215.2, valor nominal y calibres mínimos.

$$\Delta = 1.4634 \text{ V}$$

Con este resultado podemos despejar el porcentaje de caída de tensión mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

**Ecuación 7. Porcentaje de caída de tensión**

Donde obtendremos el siguiente resultado:

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{1.4634}{460} * 100$$

$$\Delta v_{3\phi} = 0.3181 \%$$

Este resultado indica que es uno de los lugares que podemos escoger ya que la caída de tensión es mucho menor y así aprovechamos el 100% de la instalación que va a realizarse.

Los equipos de protección (UPS) necesitan tener una serie de características como la capacidad de reaccionar ante cualquier evento de falla del fluido eléctrico en 100 microsegundos; esta capacidad de transferencia proporciona el tiempo suficiente para que el equipo se mantenga estéril, ante eventos con fallas cortas del fluido eléctrico.

Una vez que el fluido eléctrico haya faltado por completo, el equipo deberá proveer al menos 10 minutos de energía eléctrica mientras se restablece la alimentación principal.

## Conclusiones

- Se logró determinar que el mejor diseño de alimentación eléctrica de respaldo para las líneas de envasado de “Coca Cola FEMSA no carbonadas”, en la planta ubicada en San Antonio de Coronado, es un sistema de respaldo UPS, ya que este permite que el equipo soporte fluctuaciones de corriente por espacios cortos y que las líneas de producción se mantengan estériles para empezar nuevamente la producción. Este espacio según el diseño de la UPS va de 10 a 15 minutos siendo la limitante el banco de baterías que se utilizará para suplir la alimentación eléctrica de las líneas de producción.
- Se determinó el costo por paro de equipo, el cual se muestra en la Tabla 13 y cuya distribución porcentual se muestra en el Gráfico 13. Con base en dichos resultados, se observa que la línea de producción más importante es la línea 4 pero el impacto que generan las líneas 1 y 2 no es despreciable. Por lo tanto, se establece que deben protegerse las líneas de producción 1, 2, 4 y sus respectivos equipos auxiliares, para darle mayor continuidad al proceso productivo de la planta.
- Se determinó, con base en las mediciones de corriente y tensión y los consumos resumidos en la Tabla 21, que la carga eléctrica por respaldar es de 474.31 KW y que los equipos por adquirir deben tener la capacidad de 600 KVA.
- Se definió que la mejor ubicación de los equipos de protección, porque representa una menor caída de tensión y un menor costo de inversión, es en la zona cerca de los paneles de alimentación principal, según se muestra en la Figura 14. Los cálculos realizados se muestran en el Anexo 2.
- Se definió, con base en los resultados de esta investigación, los estudios de calidad de energía solicitados a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y el código eléctrico vigente, que las especificaciones de las UPS por adquirir son:

### **Módulo de entrada**

1. 480 VCA, 3 fases, 4 hilos, más puesta a tierra
2. Rango de voltaje: de -20% a +15% sin descargar la batería.
3. Frecuencia: 60 Hertz  $\pm 10\%$  continua.
4. Corriente de entrada máxima: 115% de la corriente de carga total nominal.
5. Factor de potencia: 0.80 de retraso a voltaje de entrada nominal ( $> 0.92$  con filtro de entrada opcional)
6. Entrada de corriente: En 30 segundos carga total.
7. Armónicos de corriente: 25% a 30% THD a condiciones nominales y a carga total del UPS ( $< 7\%$  con filtro de entrada opcional)
8. Protección transitoria de entrada: ANSI C62.41.
9. Filtro EMI (opcional): Cumplimiento con FCC clase A.

### **Salida del módulo del UPS**

1. Voltaje: 480 VCA, 3 fases, 3 o 4 hilos más puesta a tierra.
  2. Frecuencia: 60 Hertz.
  3. Potencia nominal: de 10KVA a 150 KVA.
  4. Regulación de voltaje:  $\pm 1\%$  del valor nominal para cualesquiera de los efectos
- Combinados:
- Sin carga a carga completa.
  - Factor de potencia de salida de mínimo a máximo.
  - Voltaje de entrada de CA de mínimo a máximo.

- Voltaje de entrada de CC de mínimo a máximo.
  - 0°C a 40°C temperatura ambiente.
5. Regulación dinámica :  $\pm 3\%$  desde el valor nominal para el 100% de carga escalonada.  $\pm 2\%$  desde el valor nominal para 50% de carga escalonada.
  6. Ajustabilidad del voltaje :  $\pm 5\%$ .
  7. Desequilibrio de voltaje:  $\pm 3\%$  del valor nominal para el 100% de cargas equilibradas.
  8. Separación de fase:  $120^\circ \pm 1\%$  del valor nominal para el 100% de cargas equilibradas.  $120^\circ \pm 2\%$  del valor nominal para el 100% de cargas no equilibradas.
  9. Distorsión del voltaje (carga lineal):  $< 2\%$  THD a 100% de carga.
  10. Distorsión del voltaje (no lineal-IEC62040):  $< 3\%$  THD a 100% de carga.
  11. Estabilidad de frecuencia: 60 Hertz  $\pm 0.01\%$  funcionamiento libre.
  12. Ventana de bloqueo de fase: 60 Hertz,  $\pm 4\%$  (ajustable).
  13. Velocidad de respuesta de frecuencia: de 0.1 Hertz a 20 Hertz/segundo, seleccionable en 0.1 Hertz de un ciclo.
  14. Capacidad de sobrecarga: 125% durante 10 minutos, 150% durante 60 segundos.
  15. Inversor: 220% durante 100 milisegundos, 700% durante 1.2 milisegundos

### **Batería**

1. Voltaje: 480 VCD nominal (240 celdas).
2. Fin del voltaje de descarga: 396VCD, ajustable.
3. La potencia de las baterías en amperios hora se debe tomar las siguientes condiciones, temperatura de trabajo, preferiblemente a 25°C, para poder obtener el 100% de la carga de la batería, el consumo de la carga que va a consumir dicha potencia y el tiempo que el banco de batería va a suministrar a sistema UPS.

Estas condiciones son necesarias para el cálculo de la potencia de las baterías, el siguiente cálculo dará una idea para la potencia de las baterías a utilizar:

Potencia consumida x el número de horas trabajando

Se deberá tomar en cuenta los días de autonomía que el sistema se mantenga en función en nuestro caso será de espacio de 10 minutos.

Potencia/hora x los días de autonomía

La descarga de la batería debería ser de un 75%, esto significa que luego de extraerle la potencia con la autonomía debería quedar el 25% por lo que se debe calcular más que la potencia consumida, el 25% más.

Equipo	Potencia recomendada	En 10 horas	días de autonomía 2	1,25% capacidad consumida de la batería	Sin cambios a 25°C, 12V	Amperios/hora
Línea 1	100 KVA	1000 KVA/h	2000	2500	208,333333	210
Línea 2	100 KVA	1000 KVA/h	2000	2500	208,333333	210
Línea 3	100 KVA	1000 KVA/h	2000	2500	208,333333	210
Línea 4	100 KVA	1000 KVA/h	2000	2500	208,333333	210
Enfriamiento	80 KVA	800 KVA/h	1600	2000	166,666667	170
Compresor	150 KVA	1500 KVA/h	3000	3750	312,5	320
Jarabes	40 KVA	400 KVA/h	800	1000	83,333333	90
Caldera	80 KVA	800 KVA/h	1600	2000	166,666667	170

**Tabla 22. Cálculo de potencia de batería, amperios/hora**

## Recomendaciones:

- La recomendación para las UPS es que tengan un porcentaje de potencia mayor que el consumo real de energía de equipos de protección para tener un margen de protección por algún exceso de consumo de alguno de los equipos, con esta protección estaríamos cubriendo los equipos ante cualquier evento por falta de fluido eléctrico<sup>21</sup>.
- Al escoger una fuente de protección como la UPS, se deben tener en cuenta los KVA que se mencionan en la tabla 21; tiene que especificarse que es para uso industrial y no para un centro de datos.
- En conjunto con la UPS, debe considerarse un complemento que es la planta generadora de energía eléctrica, ya que la UPS soporta fluctuaciones y fallas por un corto tiempo al alimentar las líneas hacia las llenadoras por espacio de 10 a 20 minutos; esto da tiempo a la planta generadora para encenderse y así dar alimentación a la planta y permitir que se continúe produciendo. Consumiendo diésel para que la planta generadora envíe la cantidad necesaria de energía eléctrica. Para realizar este estudio de la capacidad de la planta de energía se recomienda investigar posteriormente para escoger la planta adecuada.
- Deben protegerse los equipos de producción como las máquinas de envasado, ya que llevan a la planta de producción a incurrir en gastos considerables por material de limpieza y mano de obra ociosa (Tabla 11: 89 eventos 2017).
- A las máquinas, por tener componentes electrónicos y ser un equipo un poco obsoleto para los avances que se presentan año con año, es necesario protegerlas para evitar que se tenga un daño mayor por este tipo de fallas de fluido eléctrico.
- La línea 3 de envasado debe protegerse también porque tienen la misma importancia que las 3 líneas principales ya que el consumo de líquido de limpieza representa un costo considerable, además del paro del equipo que representa un riesgo de desabasto de la producción para cubrir las ventas del momento.
- Colocar tableros de alimentación separados de la UPS para evitar picos de consumo

---

<sup>21</sup> Código NEC, apartado 240.6

eléctrico y ocasionen sobrecargas en las mismas, estos tableros suministrarán energía a aparatos eléctricos que se necesiten usar en limpieza o mejoras de la planta.

- Complementar la instalación de tableros independientes de la UPS con tomas especiales para que los contratistas y personal de planta los utilicen para sus labores y así no afectar las líneas de producción, se muestran en el anexo 7 en la figura 19.
- Solicitar a CNFL, una doble acometida eléctrica para evitar la falta de suministro hacia la planta de producción, mediante un estudio de la CNFL y recomendación de mantener la red alimentada con una estadística de paros menores a los 15 minutos, mediante sistemas de transición.

## **Anexos.**

### Anexo 1

Desbalance de tensión Tabla 17.

Con las tensiones medidas en la Tabla 17 desarrollaremos la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de la caída de tensión entre líneas:

$$V_{desb} = \frac{V_{\emptyset} - V_{medio}}{V_{medio}} * 100$$

#### **Ecuación 8. Desbalance de líneas de tensión**

Datos de Tabla 17:

L1=469.94 voltios

L2=480.36 voltios.

L3=469.37 voltios.

Promedio=471.56 voltios.

$$V_{desb1} = \frac{469.94 - 471.56}{471.56} * 100$$

$$V_{desb1} = -0.3435\%$$

$$V_{desb2} = \frac{480.36 - 471.56}{471.56} * 100$$

$$V_{desb2} = 1.8661\%$$

$$V_{desb3} = \frac{469.37 - 471.56}{471.56} * 100$$

$$V_{desb3} = -0.46441\%$$

Vdesb1	-0.3435%
Vdesb2	1,8661%
Vdesb3	-0,4644%
Promedio	1,4017%

**Tabla 23. Desbalance de tensión**

El promedio de desbalance entre líneas es de 1.4017%; esto indica que la planta maneja un balance adecuado en sus líneas de tensión y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz mantiene una óptima red de alimentación.

## Anexo 2

Balance cargas de líneas, consumos de corriente, según Tabla 18:

$$L1 = 205.11$$

$$L2 = 197.31$$

$$L3 = 235.75$$

Promedio= 212.66

Aplicamos la fórmula anterior:

$$I_{desb} = \frac{I\phi - I_{medio}}{I_{medio}} * 100$$

**Ecuación 9. Corriente de desbalance**

$$I_{desb1} = \frac{205.11 - 212.66}{212.66} * 100$$

$$I_{desb1} = -3.55\%$$

$$I_{desb2} = \frac{197.31 - 212.66}{212.66} * 100$$

$$I_{desb2} = -7.21\%$$

$$I_{desb3} = \frac{235.57 - 212.66}{212.66} * 100$$

$$I_{desb3} = 10.77\%$$

I <sub>desb1</sub>	-3.55%
I <sub>desb2</sub>	-7.21%
I <sub>desb3</sub>	10,77%
<b>Promedio</b>	<b>7,17%</b>

**Tabla 24. Desbalance de corriente**

La Tabla 23 señala que tenemos un consumo promedio entre líneas del 7.17%, lo cual nos indica que no se están recargando las líneas de alimentación desbalanceadamente y que se está realizando un desarrollo equilibrado entre líneas.

## Anexo 3

Para el cálculo de las corrientes, tomamos las potencias reales y la tensión de operación; para las líneas de producción el cálculo es:

$$P = V * I$$

**Ecuación 10. Cálculo de potencia**

Despejando la ecuación 10, podemos obtener la corriente:

$$I = \frac{P}{V}$$

**Ecuación 11. Cálculo de corriente**

Equipo	KW	Voltaje (Voltios)	Corriente (amperios)
Línea 1	68,19	400	170,475
Línea 2	70,55	400	176,375
Línea 3	40,95	400	102,375
Línea 4	66,2	400	165,5
Enfriamiento	38,93	460	84,6304348
Compresor	107,62	460	233,956522
Jarabes	24,27	460	52,7608696
Caldera	57,6	460	125,217391

**Tabla 25. Valores de corriente despejando ecuación 11**

Si buscamos estos valores de corriente en el código NEC Tabla 310.16, obtendremos el calibre del conductor para alimentación de los equipos mencionados en la Tabla 25.

Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F).

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o 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)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
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

Figura 15. Extracto de la tabla 310.16 código NEC

Con estos valores podemos construir la siguiente tabla y recomendar el tipo de conductor por utilizar para las líneas de alimentación de los equipos a proteger.

Equipo	KW	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)	Tipo de cable THHW	Cantidad de conductores
Línea 1	68,19	400	170,475	2/0	5
Línea 2	70,55	400	176,375	2/0	5
Línea 3	40,95	400	102,375	2/0	5
Línea 4	66,2	400	165,5	2/0	5
Enfriamiento	38,93	460	84,6304348	4	5
Compresor	107,62	460	233,956522	4/0	5
Jarabes	24,27	460	52,7608696	8	5
Caldera	57,6	460	125,217391	2	5

**Tabla 26. Tipo de conductor y cantidad de conductores según tabla 310.16 código NEC**

#### Anexo 4

Cálculo de tubería para conductores seleccionados.

Para el cálculo de los conductores seleccionados nos apoyaremos en la Tabla 26 y el código NEC Tabla 5; esta nos ayuda, por medio del área del conductor, a escoger el diámetro de la tubería comercial adecuada para la instalación.

Tabla 5A Dimensiones\* y áreas nominales de alambres de aluminio y de cobre compacto para edificios

Calibre (AWG o kcmil)	Conductor desnudo		Tipos THW y THHW				Tipo THHN				Tipo XHHW				Calibre (AWG o kcmil)
	Diámetro		Diámetro aproximado		Área aproximada		Diámetro aproximado		Área aproximada		Diámetro aproximado		Área aproximada		
	mm	pulgada	mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	
8	3.404	0.134	6.477	0.255	32.90	0.0510	—	—	—	—	5.690	0.224	25.42	0.0394	8
6	4.293	0.169	7.366	0.290	42.38	0.0660	6.096	0.240	29.16	0.0452	6.604	0.260	34.19	0.0530	6
4	5.410	0.213	8.509	0.335	56.84	0.0881	7.747	0.305	47.10	0.0730	7.747	0.305	47.10	0.0730	4
2	6.807	0.268	9.906	0.390	77.03	0.1194	9.144	0.360	65.61	0.1017	9.144	0.360	65.61	0.1017	2
1	7.595	0.299	11.81	0.465	109.5	0.1698	10.54	0.415	87.23	0.1352	10.54	0.415	87.23	0.1352	1
1/0	8.534	0.336	12.70	0.500	126.6	0.1963	11.43	0.450	102.6	0.1590	11.43	0.450	102.6	0.1590	1/0
2/0	9.550	0.376	13.84	0.545	150.5	0.2332	12.57	0.495	124.1	0.1924	12.45	0.490	121.6	0.1885	2/0
3/0	10.74	0.423	14.99	0.590	176.3	0.2733	13.72	0.540	147.7	0.2290	13.72	0.540	147.7	0.2290	3/0
4/0	12.07	0.475	16.38	0.645	210.8	0.3267	15.11	0.595	179.4	0.2780	14.99	0.590	176.3	0.2733	4/0
250	13.21	0.520	18.42	0.725	266.3	0.4128	17.02	0.670	227.4	0.3525	16.76	0.660	220.7	0.3421	250
300	14.48	0.570	19.69	0.775	304.3	0.4717	18.29	0.720	262.6	0.4071	18.16	0.715	259.0	0.4015	300
350	15.65	0.616	20.83	0.820	340.7	0.5281	19.56	0.770	300.4	0.4656	19.30	0.760	292.6	0.4536	350
400	16.74	0.659	21.97	0.865	379.1	0.5876	20.70	0.815	336.5	0.5216	20.32	0.800	324.3	0.5026	400
500	18.69	0.736	23.88	0.940	447.7	0.6939	22.48	0.885	396.8	0.6151	22.35	0.880	392.4	0.6082	500
600	20.65	0.813	26.67	1.050	558.6	0.8659	25.02	0.985	491.6	0.7620	24.89	0.980	486.6	0.7542	600
700	22.28	0.877	28.19	1.110	624.3	0.9676	26.67	1.050	558.6	0.8659	26.67	1.050	558.6	0.8659	700
750	23.06	0.908	29.21	1.150	670.1	1.0386	27.31	1.075	585.5	0.9076	27.69	1.090	602.0	0.9331	750
900	25.37	0.999	31.09	1.224	759.1	1.1766	30.33	1.194	722.5	1.1196	29.69	1.169	692.3	1.0733	900
1000	26.92	1.060	32.64	1.285	836.6	1.2968	31.88	1.255	798.1	1.2370	31.24	1.230	766.6	1.1882	1000

\*Las dimensiones provienen de fuentes de la industria.

Figura 16. Extracto de tabla 5, código NEC

Con esta tabla y la cantidad de conductores podemos realizar el siguiente cálculo para obtener el diámetro de la tubería para la instalación.

diámetro = Área del conductor tabla 5 código NEC \* la cantidad de conductores

Para los conductores 2/0 realizaremos el cálculo y se mostrarán en la tabla resumen, los resultados:

$$\text{Diámetro} = (121.6\text{mm}^2) * 5$$

$$\text{Diámetro} = 608\text{mm}^2$$

Con estas medidas y utilizando la Tabla 4 del código NEC, podemos obtener la medida de la tubería comercial para utilizar en la instalación.

Tabla 4. Dimensiones y área porcentual de conduit y tubería  
(Áreas de conduit o tubería para las combinaciones de alambres permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículo 358 – Tubería eléctrica metálica (EMT)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Diámetro interno nominal		Área total 100%		60%		1 alambre 53%		2 alambres 31%		Más de 2 alambres 40%	
		mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulgada <sup>2</sup>
16	½	15.8	0.622	196	0.304	118	0.182	104	0.161	61	0.094	78	0.122
21	¾	20.9	0.824	343	0.533	206	0.320	182	0.283	106	0.165	137	0.213
27	1	26.6	1.049	556	0.864	333	0.519	295	0.458	172	0.268	222	0.346
35	1 ¼	35.1	1.380	968	1.496	581	0.897	513	0.793	300	0.464	387	0.598
41	1 ½	40.9	1.610	1314	2.036	788	1.221	696	1.079	407	0.631	526	0.814
53	2	52.5	2.067	2165	3.356	1299	2.013	1147	1.778	671	1.040	866	1.342
63	2 ½	69.4	2.731	3783	5.858	2270	3.515	2005	3.105	1173	1.816	1513	2.343
78	3	85.2	3.356	5701	8.846	3421	5.307	3022	4.688	1767	2.742	2280	3.538
91	3 ½	97.4	3.834	7451	11.545	4471	6.927	3949	6.119	2310	3.579	2980	4.618
103	4	110.1	4.334	9521	14.753	5712	8.852	5046	7.819	2951	4.573	3808	5.901

Figura 17. Tabla 4 del código NEC

Con estos datos elaboramos la siguiente tabla:

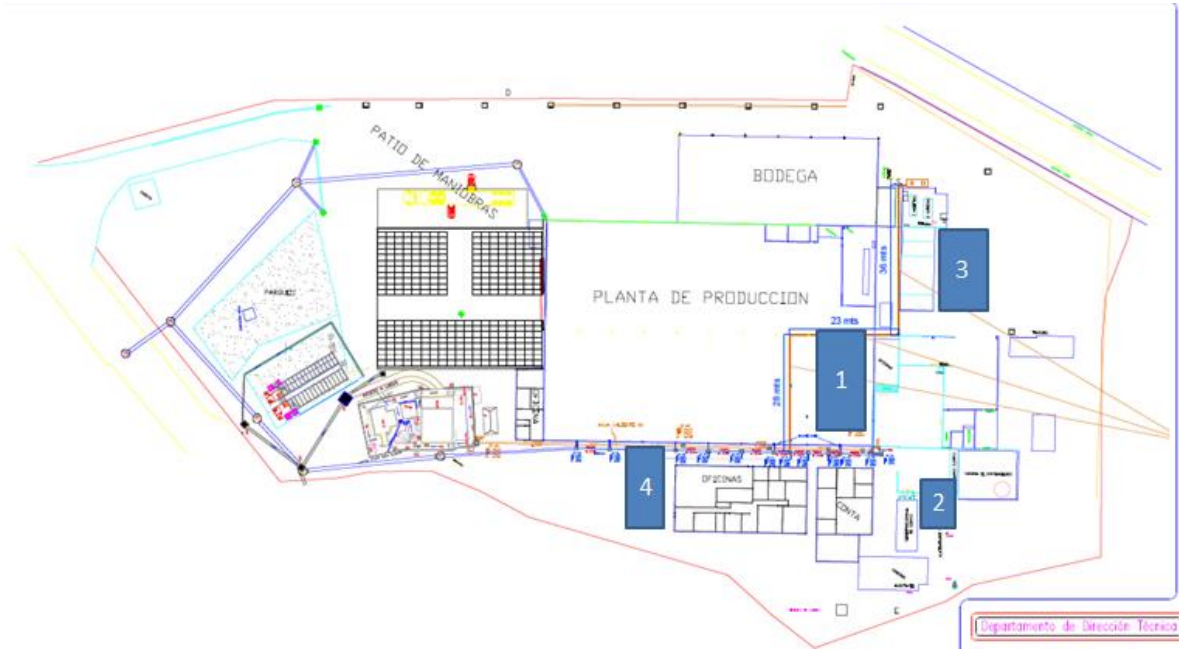
Equipo	KW	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)	Tipo de cable THHW	Cantidad de conductores	Tipo de tubería EMT pulgadas
Línea 1	68,19	400	170,475	2/0	5	2
Línea 2	70,55	400	176,375	2/0	5	2
Línea 3	40,95	400	102,375	2/0	5	2
Línea 4	66,2	400	165,5	2/0	5	2
Enfriamiento	38,93	460	84,6304348	4	5	1 3/4
Compresor	107,62	460	233,956522	4/0	5	2 1/2
Jarabes	24,27	460	52,7608696	8	5	1
Caldera	57,6	460	125,217391	2	5	1 1/2

Tabla 27. Tipo de tubería, según tabla 4 de código NEC

## Anexo 5

Ubicación de los equipos de protección:

Para la ubicación de los equipos de producción, podemos apreciar en el siguiente plano áreas que pueden ser idóneas para la instalación.



**Figura 18. Recorte de plano de planta de bebidas no carbonatadas Coronado**

En la Figura 18 se muestran cuatro posibles ubicaciones para la instalación del sistema de protección de las líneas de envasado.

Ubicación 1: Detrás de las líneas de producción; en esta área el espacio es reducido y hay mucho tránsito de personas, lo que podría ocasionar un accidente ya que se realizan labores de limpieza muy cerca de los equipos de producción.

En este punto tenemos una distancia de 50 metros pero no en línea recta hasta el tablero principal de alimentación de los equipos, con esta distancia tendríamos la siguiente caída de tensión:

Tomando la Ecuación 7

$$\Delta V_{3\phi} = \left( \frac{2 * R * L * I^3 \phi}{1000} \right) * 0.866$$

L= 50 metros, esto es, 164.04 pies.

R= 2/0, según tabla 8 NEC, 0.101Ω

I= 170 amperios.

$$\Delta V_{3\phi} = \left( \frac{2 * 0.101 * 164.04 * 170}{1000} \right) * 0.866$$

$$\Delta V_{3\phi} = 4.87 \text{ V}$$

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{4.87}{400} * 100$$

$$\Delta v_{3\phi} = 1.21\%$$

Esta ubicación nos da una caída de tensión de 1.21%, la cual no afectaría para realizar la instalación en ese lugar, a pesar de los problemas mencionados anteriormente.

Ubicación 2:

L= 15 metros, esto es, 49.21 pies.

R= 2/0, según tabla 8 NEC, 0.101Ω

I= 170 amperios.

$$\Delta V_{3\phi} = \left( \frac{2 * 0.101 * 49.21 * 170}{1000} \right) * 0.866$$

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{1.4634}{400} * 100$$

$$\Delta v_{3\phi} = .0036\%$$

Ubicación 3:

L= 297 metros, esto es, 974.40 pies.

R= 2/0, según tabla 8 NEC, 0.101Ω

I= 170 amperios.

$$\Delta = \frac{2 * 0.101 * 974.40 * 170}{1000} * 0.866$$

$$\Delta = 28.97 \text{ V}$$

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{28.97}{400} * 100$$

$$\Delta v_{3\phi} = 7.24\%$$

Ubicación 4:

L= 40 metros, esto es, 131.23 pies.

R= 2/0, según tabla 8 NEC, 0.101Ω

I= 170 amperios.

$$\Delta = \frac{2 * 0.101 * 131.23 * 170}{1000} * 0.866$$

$$\Delta = 3.90 V$$

$$\Delta v_{3\phi} = \frac{3.90}{400} * 100$$

$$\Delta v_{3\phi} = 0.97\%$$

En la siguiente tabla podemos apreciar el resultado de caída de tensión para las diferentes ubicaciones y la que se sugiere para realizar la instalación de los equipos de protección.

Ubicación 1	1,21%
Ubicación 2	0,0036%
Ubicación 3	7,24%
Ubicación 4	0,97%

**Tabla 28. Resumen de caídas de tensión por ubicación**

Así, la ubicación 2, a una distancia de 15 metros del tablero de alimentación de los equipos es la más adecuada por presentarse ahí la menor caída de tensión (0.0036%).

## Anexo 6

Calculo de la potencia de equipos por proteger:

Para el cálculo de los equipos por proteger se toma en cuenta el factor de utilización y el factor de crecimiento, para realizar una adecuada selección de los equipos UPS;

Potencia proyectada;  $P_{proy}$ .

Potencia de diseño;  $P_{dis}$ .

Factor de utilización;  $f_u$ , valores de 0.75 a 0.85.

Factor de crecimiento;  $f_c$ , se realiza una proyección de 5 años a un 2.5% anual.

$$P_{proy} = P_{dis} * f_c / f_u$$

Equipo	KW	Potencia proyectada	Potencia recomendada
Línea 1	68,19	90,65258824	100 KVA
Línea 2	70,55	93,79	100 KVA
Línea 3	40,95	54,43941176	100 KVA
Línea 4	66,2	88,00705882	100 KVA
Enfriamiento	38,93	51,754	80 KVA
Compresor	107,62	143,0712941	150 KVA
Jarabes	24,27	32,26482353	40 KVA
Caldera	57,6	76,57411765	80 KVA

**Tabla 29. Resumen de potencia sugerida para UPS**

#### Anexo 7

Toma corriente con una de las patas en forma de T para ser más fácil su identificación, estas salidas serán usadas por contratistas y personal interno para evitar la conexión a las líneas de protección protegidas con la UPS.



**Figura 19, toma corriente con pata en forma de T**

## Bibliografía

- Arroyo, J. (2009). Análisis y diseño de redes de baja tensión a partir de la medición de cargabilidad de los transformadores de distribución. Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica; proyecto eléctrico para obtener el título de Bachiller en Ingeniería Eléctrica, (proyecto de graduación)Universidad de Costa Rica.
- Bolaños, J. (2008). Especificación e implementación de plantas eléctricas para baja tensión. Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, proyecto eléctrico para obtener el título de Bachiller en Ingeniería Eléctrica.(proyecto de graduación)Universidad de Costa Rica.
- Cervantes, J. (2000). Protección en sistemas eléctricos. Estudiante de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, especialidad en Ciencias de la Ingeniería, con especialidad en potencia (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- González, J. (2010). Análisis de grupo electrógeno, UPS y sistemas de transferencia automática en un hospital tipo del IMSS de la red del país. Estudiante de la carrera de Ingeniería, especialidad eléctrico electrónico, (Tesis de maestría) Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz, L. (2013). Diseño e instalación de plantas de emergencia en centro comercial para asegurar la continuidad del servicio eléctrico. Estudiante de la Facultad de Ingeniería, especialidad eléctrico electrónico, (tesis de maestría) Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vega, R. (2010). Propuesta de mejoramiento de los sistemas de protección de la red eléctrica –circuito Cerrillos. Estudiante de Ingeniería Electrónica; proyecto de graduación para obtener el título de Licenciatura en electrónica.(Proyecto de graduación) Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Voltímetro, definición, “s.f” recuperado de:

<http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion>

Potencia, definición, (2013) recuperado de:

<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/2013/09/11/como-se-mide-la-potencia/>

Consumo eléctrico, definición, “s.f” recuperado de:

<http://redeselectricasrd.cdeee.gob.do/como-se-mide-el-consumo-de-energia-electrica/>

Pasteurización, definición, “s.f” recuperado de:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Pasteurizacion>

Manual de instalación para maquinas llenadoras tetra pack, 2002.