



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

TEMA:

**AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LA EMPRESA
"PROVEFRUT S. A."**

ELABORADO POR:

RAFAEL M. CHUQUILLA ALMACHI

DIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ

CO – DIRECTOR: ING. JUAN CASTRO

LATACUNGA, NOVIEMBRE DEL 2002

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
- Definición del problema	1
- Objetivo general	1
- Objetivos específicos	2
- Metas	2
CAPITULO 1: GENERALIDADES	4
1.1 Características generales del proceso de producción	5
1.2 Uso racional de la energía en la industria	12
CAPITULO 2: AUDITORIA ENERGÉTICA PRELIMINAR	14
2.1 Objetivo	14
2.2 Diagrama de flujo de los procesos de producción de la planta	15
2.3 Datos de consumo y costos de energía	17
2.4 Datos de producción	27
2.5 Evaluación sobre el estado de la planta	30
CAPITULO 3: AUDITORIA ENERGÉTICA DETALLADA	31

3.1	Objetivos	32
3.1.1	Objetivo general	32
3.1.2	Objetivos específicos	32
3.2	Sistema de vapor	33
3.2.1	Equipos	33
3.2.2	Medición de los principales parámetros	33
3.2.3	Registro de datos	34
3.3	Sistema eléctrico	41
3.3.1	Equipos	41
3.3.2	Medición de los principales parámetros	43
3.3.3	Registro de datos	44
3.3.4	Iluminación	54
CAPITULO 4: IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES AHORROS		
DE ENERGIA		57
4.1	Identificación de los sistemas/equipos de mayor consumo	57
4.1.1	Sistemas de vapor	57
4.1.2	Sistema eléctrico	70
4.2	Análisis detallado de los sistemas/equipos de mayor consumo	82
4.2.1	Sistema de vapor	82
4.2.1.1	Calderas para la producción de vapor	82

4.2.1.2	Generación de vapor	87
CAPITULO 5: DISEÑO E IMPLMANTACION DE SOLUCIONES		89
5.1	Alternativas de soluciones para mejorar el consumo y evitar el desperdicio	89
5.1.1	Sistema de vapor	89
5.1.1.1	Control de purgas	89
5.1.1.2	Caídas de presión en tuberías de vapor	94
5.1.2	Sistema eléctrico	96
5.1.2.1	Reducción del consumo de energía disminuyendo los arranques de los motores UNISAB de los compresores de refrigeración	96
5.1.2.2	Cambio de luminarias en distintas áreas de trabajo	101
5.1.2.3	Cambio de motores estándar por motores de alta eficiencia	114
5.2	Programa de seguimiento	120

5.2.1 Plan de acción

120

5.2.2 Monitoreo

120

5.2.3 Capacitación

120

CAPITULO 6: CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO DE LA EMPRESA

“PROVEFRUT”

125

6.1 Impedancias de los medios de servicio

125

6.2 Aclaraciones de conceptos

127

6.3 Cálculos

129

6.4 Ejemplo de coordinación de protecciones

137

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

140

7.1 Resultados generales	
	140
7.2 Conclusiones	
	142
7.2.1 Conclusiones generales	
	142
7.2.2 Conclusiones específicas	
	143
7.3 Recomendaciones	
	144
7.3.1 Recomendaciones generales	
	144
7.3.2 Recomendaciones específicas	
	145
Bibliografía	
	146

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1	Proceso de producción de brócoli	6
TABLA 1.2	Proveedores de materia prima	10
TABLA 1.3	Parámetros de proceso	11
TABLA 2.1	Consumo y costo de electricidad	18
TABLA 2.2	Consumo y costo general de bunker	19
TABLA 2.3	Consumo y costo general de diesel	20
TABLA 2.4	Consumo y costo general de gasolina	21
TABLA 2.5	Consumo y costo general de gas	22
TABLA 2.6	Resumen de costos de energía	23
TABLA 2.7	Datos de producción	28
TABLA 3.1	Análisis físico – químico de aguas	35
TABLA 3.2	Registro de datos del caldero Cleaver Brooks	36
TABLA 3.3	Datos actuales de funcionamiento de motores trifásicos	45
TABLA 3.4	Niveles de iluminación que posee la planta	55
TABLA 3.5	Características de lámparas utilizadas en la planta	56
TABLA 4.1	Temperatura y consumo de vapor de las líneas de proceso	68
TABLA 4.2	Pérdidas eléctricas en el funcionamiento de motores trifásicos	72
TABLA 4.3	Cables y alambres de cobre para uso en electricidad	81
TABLA 4.4	Pérdidas de eficiencia en la combustión	85
TABLA 4.5	Reporte de análisis de los gases de combustión	86

TABLA 5.1 Luminarias propuestas por áreas

102

TABLA 5.2 Tipos de lámparas eléctricas

106

TABLA 5.3 Distribución de aparatos de iluminación

113

TABLA 5.4 Comparación de costos de motores

117

TABLA 5.5 Métodos para evaluar los ahorros derivados del uso
de motores de alta eficiencia

118

TABLA 5.6 Plan de acción

122

TABLA 5.7 Monitoreo

123

TABLA 5.8 Capacitación

124

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Diagrama de flujo de procesos de producción de la planta	16
FIGURA 2.2	Costo promedio total de energía	24
FIGURA 2.3	Consumo promedio de energía	25
FIGURA 2.4	Costo promedio de energía	26
FIGURA 2.5	Datos de producción	29

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N.- 1 Diagrama unifilar del sistema eléctrico de la empresa

“PROVEFRUT S.A.”

ANEXO N.- 2 Ubicación geográfica de equipos

ANEXO N.- 3 Curvas de potencias

ANEXO N.- 4 Análisis de aguas

ANEXO N.- 5 Caída de presión en tuberías

ANEXO N.- 6 Distribución de luminarias

ANEXO N.- 7 Tablas y figuras para el cálculo de corrientes de cortocircuito

ANEXO N.- 8 Categorías de transformación, puntos de daño mecánico

ANEXO N.- 9 Coordinación de protecciones de la línea de alimentación

ANEXO N.- 10 Coordinación de protecciones del generador de emergencia

ANEXO N.- 11 Curvas matrices de fusibles tipo “K” e interruptores SIEMENS

ANEXO N.- 12 Coordinación de protecciones del transformador recomendada.

ANEXO N.- 13 Curva actual de potencia de demanda

INTRODUCCIÓN

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo tiene como finalidad obtener información exacta sobre las cargas existentes en la planta y cuál es su verdadero consumo, con esto se pretende plantear soluciones que incrementen la eficiencia tanto energética como térmica en la planta, así mismo nos permitirá conocer sobre el costo fijo de la energía suministrada tanto por la Empresa Eléctrica como el costo de energía térmica.

En la empresa PROVEFRUT S. A., en el mes de octubre del año 2001 se pagó por consumo de energía eléctrica \$ 43.132.07, su factor de potencia fue de 0.90 por el cuál se pago una penalización de \$ 851,54 (valor incluido en costo de consumo de energía eléctrica); en el mismo mes se pago por consumo de energía térmica \$ 2677.92 por 5037.000 galones.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y aplicar una metodología de Auditoria energética en la empresa PROVEFRUT S. A.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el estudio de cargas existentes en la empresa para mejorar el sistema eléctrico.
- Disminuir los costos por consumo, tanto por energía eléctrica como de combustible para la generación de vapor.
- Concienciar al personal sobre base a normas generales sobre el uso racional de energía eléctrica y térmica.
- Diagnosticar y analizar los bancos capacitados sobre base al factor de potencia que tiene la planta.
- Elaborar planos del sistema eléctrico, los mismos que servirán de referencia y guía para futuras aplicaciones; fundamentalmente para la elaboración de un plan de mantenimiento adecuado.
- Identificar los principales potenciales de ahorros de energía en la planta.

METAS

- Efectuar la Auditoria Energética preliminar de la planta (capitulo 2) durante 4 semanas.
- Realizar la Auditoria Energética detallada de la planta (capitulo 3) durante 10 semanas.
- Diseñar un plan de capacitación a través de un estudio técnico en 6 semanas.
- Elaborar planes de acciones para el mejoramiento de los procesos de producción con un mínimo de desperdicio de materia prima.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

La empresa PROVEFRUT S. A. (Procesadora de Vegetales y Frutas tropicales S. A.), empresa ubicada en la Provincia de Cotopaxi en el kilómetro 10 de la Panamericana Norte y domiciliada en la ciudad de Quito, cuyas actividades son el procesamiento y exportación de vegetales y productos agroindustriales en general, comenzó sus actividades en el año de 1989.

Los productos que se procesan son: brócoli, romanesco, coliflor y tallos de diferentes calibres dependiendo del tipo de comprador. Todos estos productos son exportados.

El tiempo de trabajo para cada turno es de 8 horas diarias y 6 días a la semana, se cuenta con tres turnos.

Existen personal calificado y no calificado, en la empresa trabajan aproximadamente unos 500 obreros, un 70% corresponden a mujeres y el resto corresponden a hombres.

El volumen de producción es de 1600 kg/h para la línea 1, para la línea 2 es de 2000 kg/h y para la línea 3 es de 771,3 kg por proceso; en la línea 1 se procesa un total de 6 horas y se tiene 2 horas para la limpieza de las cintas y el deshielo del IQF 1 (INDIVIDUAL QUICKLY FREEZER, Congelamiento Rápido

Individual); mientras que en la línea 2 se procesan de 7 a 8 horas y 2 horas se tiene para la limpieza y el deshielo, en la línea 3 se realizan 3 procesos por turno, cada proceso dura 2 horas, al final del proceso se hace la limpieza por el lapso de media hora.

El volumen de proceso que se realiza por turno es de aproximadamente de 24500 kg. En las 3 líneas de proceso, es decir que al día se tiene un volumen promedio de proceso de 73500 kg.

1.1 Características generales del proceso de producción

Para el proceso de producción del brócoli, en la empresa PROVEFRUT S.A. existen áreas en las cuáles, cada una de ellas tienen sus actividades en el manejo y control del producto.

En la TABLA 1.1. se detalla el proceso de producción del brócoli con las actividades que se realizan.

TABLA 1.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BROCOLI

Ord.	Etapas	Descripción	Comentarios
1	Materia prima	La principal materia prima proviene de sus alrededores, ya que este producto se cultiva en la región de la sierra	Sus principales proveedores de materia prima se encuentran en la TABLA 1.2
2	Control	La materia prima es sometida a un riguroso control, en la cual se controla su estado	Este control lo realiza personal de control de calidad, los mismos que se encuentran repartidos en cada una de las áreas o departamentos
3	Acondicionamiento	Consiste en mantener la materia prima a una temperatura entre los 6 y 11 °C	Para conservar a esta temperatura, la materia prima es introducida a la cámara de fresco; luego de la etapa de corte, también es sometida a un nuevo acondicionamiento
4	Corte	La materia prima es cortada en distintos calibres, dependiendo del tipo de proceso y del comprador	Esta etapa es realizada por todo el personal del área de corte, los calibres que se cortan se observan en la TABLA 1.3
5	Tamizado	El tamizado es la selección de los diferentes calibres	Se lo realiza cuando existe una mezcla de calibres, con esto seleccionamos un solo calibre. Se utiliza la tamizadora de calibres.

Ord.	Etapa	Descripción	Comentarios
6	Reinspección	En la reinspección se van separando los calibres, materia prima en mal estado y materiales extraños	La reinspección se realiza tanto en el área de proceso como en el área de empaque. La reinspección se realiza en forma manual
7	Proceso	En esta etapa el producto es sometido a su tratamiento hasta obtener el producto final	Existen tres líneas de proceso, para la 1 y la 2 los pasos de proceso son los mismos y el producto se empaca en fundas o cartones con peso en Kg., mientras que en la línea 3 (ECONOPAK) el producto se empaca en cajitas de 300 g.
7.1	Lavado	Para el inicio de cada proceso, el producto es sometido a un lavado y al mismo tiempo es arrastrado en una cinta de ascenso para llegar a la cinta del blancher	La lavadora consta de una bomba, un filtro y un ventilador; los mismos que realizan el lavado y la recolección de producto fino.
7.2	Cocido	En el blancher se efectúa la etapa de cocido del producto, para esto se utiliza el vapor, el mismo que es producido por el caldero	Dependiendo del producto y calibre; la temperatura, la presión, la velocidad y el tiempo de cocido en el blancher tiene parámetros distinto TABLA 1.3.

Ord.	Etapa	Descripción	Comentarios
7.3	Enfriamiento	El producto cocido es llevado a la cinta del hidrocooler, donde por medio de duchas y agua tratada es enfriada y luego trasladada hacia el IQF	El agua es tratada con cloro y enfriada en el banco de hielo por medio del refrigerante amoniacó y enviado al hidrocooler mediante bombas
7.4	Congelado	Para la etapa de congelado, el producto es trasladado hacia el IQF, donde a una temperatura entre – 30 y –35 °C el producto es congelado a través del amoniacó	El IQF consta de ventiladores y cintas transportadoras, las capacidades son: IQF1 de 1600 Kg/h y el IQF2 de 2000 Kg/h, las velocidades de las cintas se observan en la TABLA 1.3
8	Empaque	En esta área se realiza el empaque del producto, ya sea en fundas o en cartones y sometida a la detección de materiales extraños por medio del detector de metales	La temperatura en ésta área es de 6 a 9 °C. El producto de la línea 3 es congelado en el PLATE FREZEER hasta alcanzar una temperatura de –25 °C y por último las cajitas son termo selladas en paquetes de 10 unidades

Ord.	Etapa	Descripción	Comentarios
-------------	--------------	--------------------	--------------------

9	Embodegado	El producto se embodega en las cámaras de congelado, los mismos que están a una temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la que conserva el producto en perfecto estado	Para que las cámaras se mantengan en esta temperatura se realizan todos los días el deshielo de los serpentines de los evaporadores; el deshielo se lo realiza por medio de agua o gas caliente
---	------------	---	---

1.2 Uso racional de la energía en la industria

Los recursos energéticos son inagotables, por lo tanto se debe tomar conciencia de la importancia del ahorro de energía eléctrica y ejecutar desde ya un sin número de acciones tendientes a optimizar el uso de la misma. El principal inconveniente en cada fase del proceso es el método que se debe adoptar para identificar y corregir en forma efectiva su consumo.

El sector industrial ofrece un importante potencial de conservación y uso racional de la energía, con la particularidad de que está formado por un número relativamente pequeño de consumidores con un grado alto de organización.

El continuo crecimiento del Sistema Eléctrico de la empresa PROVEFRUT S.A. ha originado un vacío de información en relación con la ubicación de cargas y al consumo de energía que estas implican; presentándose además una serie de problemas que reducen la eficiencia del sistema, que se traducen en pérdidas económicas.

La empresa PROVEFRUT S.A. es un consumidor de energía eléctrica y térmica; la energía eléctrica es utilizada especialmente en los motores de los compresores de amoníaco y en general en todos los motores eléctricos e iluminación, la energía térmica es utilizada en los Blanchers.

Para obtener información deseada es necesario elaborar un programa de conservación de energía en el que se consideren sus características específicas y sus limitaciones técnicas y económicas, la misma a mas de plantear soluciones que incrementen la eficiencia energética de la planta, permitirá un ordenado crecimiento de los centros de carga en función de las necesidades que tiene la empresa.

CAPITULO 2

AUDITORIA ENERGÉTICA PRELIMINAR

Para la realización de este capítulo, el primer paso fundamental es la recolección de los primeros datos, como es el costo y el consumo de energía y los datos de producción, a partir de éstos se van a identificar cuáles son los principales consumidores de energía, su funcionamiento y como se da el uso de la electricidad en cada uno de ellos, una vez obtenidos los primeros datos se podrá localizar e identificar los equipos o sistemas de mayor consumo de energía para con ello realizar un seguimiento y así poder plantear las posibles soluciones para disminuir su costo consumo.

Los datos que se obtengan serán recopilados desde es mes de Octubre del año 2001 hasta el mes de Mayo del año 2002, los mismos que serán con la colaboración de personal técnico de la empresa.

2.1 OBJETIVOS

- Recolectar los primeros datos de todos los equipos o sistemas existentes en la Planta, así como el costo y consumo de energía.
- Elaborar su correspondiente Diagrama de flujo de los procesos de producción de la Planta.

- Analizar el estado de funcionamiento en la que se encuentran todos los equipos; es decir, realizar una primera evaluación sobre el estado en la que se encuentra actualmente la Planta.

2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

El diagrama de flujo de los procesos de producción de la empresa PROVEFRUT S.A. se observa en la FIGURA 2.1.

2.3 Datos de consumo y costos de energía

Los datos que se muestran en las tablas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 son los que se obtuvieron durante los meses de Octubre a Mayo en los recorridos que se realizaron en la empresa PROVEFRUT S.A., en los cuales se tienen los costos y consumos que se tiene en la Planta; este es el primer paso que se realizó para constatar la situación actual.

2.4 Datos de producción

En la empresa “PROVEFRUT” durante los meses de Octubre a Mayo se ha producido cada mes aproximadamente la cantidad de 2.101.988 Kg, los mismos que son almacenados en las cámaras de congelado, éste producto es luego empacado para los diferentes clientes.

En la tabla 2.7 se detallan los datos de producción durante estos meses.

2.5 EVALUACION SOBRE EL ESTADO DE LA PLANTA

Del estudio que se realizó se determinó el estado y la situación de la planta que se encuentra en la actualidad.

Del estudio de costo y consumo de energía se determinó que las dos mayores fuentes de energía que se utilizan son: eléctrica y térmica.

Con lo que se refiere a las maquinarias se encuentran en un 80 % funcionando, últimamente se están adquiriendo máquinas de alta eficiencia para reemplazarlos por los que ya cumplieron su vida útil.

El mantenimiento de todos estos equipos es de tipo correctivo, ya que no existe un plan de mantenimiento definido, o un concepto claro de lo que es la filosofía de explotación del equipo, otro de los problemas es el de no tener un stock adecuado de repuestos en bodega. El principal problema que tienen las máquinas es el medio en el cual se encuentran, ya que este es bastante húmedo y trabajan por lo general 6 días a la semana ininterrumpidamente.

CAPITULO 3

AUDITORIA ENERGÉTICA DETALLADA

La auditoria energética detallada consiste en la recolección de parámetros a los cuales se encuentran funcionando los diferentes equipos, para esto, se utilizaron instrumentos de medida; así también sobre la base de parámetros ya existentes y a experiencias del personal de planta.

Mediante la auditoria energética detallada se va a evaluar en las condiciones de operación a las cuales esta funcionando la planta, una vez realizado las pruebas se podrá saber exactamente a que eficiencia se encuentran operando los equipos, en base a esto, se determinarán las posibles soluciones para la reducción de consumo y costo de energía y así realizar un seguimiento y un plan de mantenimiento adecuado.

Cabe anotar que, una vez realizado el estudio de factibilidad técnico y económico de los distintos equipos, la decisión de reemplazarlo o repararlo alguno de ellos corre por cuenta de la gerencia, una vez realizado el informe en el cual consta los resultados y recomendaciones de dicho estudio se concluye la auditoria energética detallada.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

- Determinar las posibles soluciones para la reducción de consumo y costo de energía de la planta.

3.1.2 Objetivos específicos

Determinar los factores principales por lo cual se consume energía en la planta.

Para la consecución de este objetivo se realizarán los siguientes pasos:

- Mediciones instrumentales de los equipos seleccionados.
- Recolección de datos auxiliares.
- Evaluación de los datos recolectados.
- Identificación de oportunidades de conservación.
- Cálculos de índices energéticos.
- Elaboración de un plan de acción para el uso racional de energía.

3.2 Sistema de vapor

3.2.1 Equipos

Los equipos que van a ser analizados son: el caldero Cleaver Brooks y los Blanchers de las tres líneas de proceso.

3.2.2 Medición de los principales parámetros

Los parámetros a medirse en el equipo son:

- Análisis de aguas.
- Presión de combustible entrada y salida.
- Temperatura de combustible.
- Presión de vapor.
- Presión de aire.
- Presión de gas.
- Temperatura de agua de entrada.
- Temperatura de los gases de combustión
- Coloración del humo.

3.2.3 Registro de datos

El registro de datos se observan en las tablas 3.1 y 3.2 que se detallan a continuación:

Explicación de los conceptos para el caldero

PH:

Debe estar entre 10.5 y 12 en el agua del caldero. Un PH menor a 10.5 es incrustante y corrosivo, muy peligroso, mayor a 12 causa arrastre de sólidos en el vapor y frigidización cáustica.

STD:

Los sólidos totales se calculan para cada caso, según el agua cruda, la presión de trabajo y el número de pasos del caldero. Sirven como medida de la máxima cantidad de lodos que pueden haber en el caldero. Si pasa este límite puede ocurrir incrustaciones.

DUREZA TOTAL:

La dureza total en el agua de alimentación debería ser CERO, lo que muchas veces no es posible. Según la dureza total se escoge el tipo de tratamiento químico. El agua del caldero también debe ser CERO midiéndola en una muestra filtrada.

DUREZA CALCIO:

Similar comentario al anterior.

ALCALINIDAD F:

Mide la mitad de los carbonatos y la totalidad de los hidróxidos. En el agua cruda debe ser CERO. En el agua del caldero debe ser mayor a la mitad de la Alcalinidad T (total). Cuando no es así el agua cruda está contaminada por la del caldero desbalanceado.

ALCALINIDAD TOTAL:

Comprende todas las alcalinidades, bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. En un análisis no pueden estar presentes bicarbonatos e hidróxidos. La alcalinidad T, en el caldero depende del agua cruda y del tratamiento químico. Junto con la Alcalinidad F, indica la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

BICARBONATOS:

En el agua cruda deben conformar toda la alcalinidad. En el agua del caldero debe ser CERO.

CARBONATOS:

Deben estar ausentes en el agua cruda; en el agua del caldero deben estar en cantidad mayor a 200 p.p.m. En el agua cruda es mejor tratarle mediante el “ciclo carbonato”, es decir en base a carbonatos. Precipitan el calcio.

HIDROXIDOS:

Deben estar ausentes en el agua cruda. En el agua del caldero deben estar entre 200 y 2400 p.p.m. Precipitan el magnesio y mantienen la sílice sin incrustarse; protegen el metal de la corrosión. Cuando su presencia es muy alta, puede causar una fragilización del metal.

FOSFATOS:

Es el tratamiento adecuado para las aguas blandas, conocido como ciclo "fosfato". El residual debe estar entre 30 – 60 ppm en el agua del caldero, medida que se realiza en el agua filtrada, cuando hay presencia de sólidos suspensos. Precipita el calcio.

SULFITO:

Protege contra la corrosión por oxígeno, que causa huecos en el metal y en forma muy rápida. Debe estar presente entre 20 y 100 ppm. En forma muy catalizada. Menos de 20 significa dosificación del producto químico.

SÍLICE:

Cuando el PH está sobre 10.5, los hidróxidos sobre 200 ppm y el caldero trabaja menos de 250 libras por pulgada cuadrada, la cantidad de sílice presente en el agua del caldero no es problema, pues no se incrusta.

CICLOS:

El número ciclos que puede hacer el agua del caldero depende de la dureza total del agua cruda, de la presión de trabajo y del tipo de caldero.

PORCENTAJE DE PURGA:

Según el número óptimo de purga se calcula el porcentaje de purga, la purga es un factor importante para mantener el caldero sin incrustaciones, así como para regular el nivel de los químicos en el agua del caldero.

HIERRO:

La presencia máxima de hierro en el agua del caldero es de 10 ppm, puede causar incrustaciones porque interfiere con los anticristalizantes. No es síntoma de corrosión, cuando el PH y las alcalinidades están normales, pero en caso contrario sí. Puede aparecer en el agua del caldero porque entra con el agua cruda y/o con el condensado.

Para que un caldero este siempre libre de corrosión y de incrustaciones, se debe:

1. Mantener el agua dentro de los límites especificados dosificando oportunamente los químicos.
2. Realizar las purgas en forma normal y controlar que salgan los lodos.
3. Evitar fallas en la circulación del agua dentro del caldero lo que puede ocurrir por mala orientación de la llama, sobrecarga de fuego y por incrustaciones localizadas.

4. Abrir el caldero para inspección preparado para la apertura.

3.3 Sistema eléctrico

La empresa PROVEFRUT S.A. posee una alimentación trifásica para el funcionamiento de sus equipos, la misma que es suministrada por ELEPCO S.A.

La red de alta tensión llega desde la S/E de Mulalo 2 a 13.8 KV, la cual, mediante 4 transformadores trifásicos que existen en la subestación es reducida a 460 voltios, éstos llegan a tableros de distribución repartidos por toda la Planta y finalmente hacia los equipos que consumen energía trifásica; además poseen 2 transformadores que reducen la tensión de 460 V a 240 y 120 V, los mismos que se usan en motores pequeños y en lo que se refiere a la iluminación en la Planta (ANEXO N.- 1).

3.3.1 Equipos

Los equipos a ser analizados son todos los existentes en la empresa, la ubicación geográfica se observa en el ANEXO N.- 2, los mismos que se encuentran en las siguientes áreas:

- Cuarto de calderos.

- Banco de hielo.
- Cuarto de bombas.
- Compresores de aire.
- Compresores de amoniaco.
- Bombas de amoniaco.
- Condensadores 1 y 2
- Piscinas de agua.
- Líneas de proceso 1, 2 y 3.
- Corte.
- Proceso.
- Empaque.
- Cámaras de congelado 1, 2 y 3.
- Precámara.
- Cámara de fresco.
- Antecámara.
- Cámara de Florets.
- Iluminación de oficinas.
- Iluminación de planta.
- Conductores.

3.3.2 Mediciones de los principales parámetros.

Los parámetros a medirse (tomar datos) en todos los equipos se localizan en las placas de datos y son los siguientes:

- Voltaje, V.
- Amperaje, A.
- Potencia, Kw.
- Factor de potencia, cos ϕ .
- Velocidad angular, RPM.
- Frecuencia, Hz.

3.3.3 Registro de datos.

El registro de datos se detallan en las tablas 3.3 que se tienen a continuación:

3.3.4 ILUMINACION

Los niveles de iluminación que posee la Planta, así como las características de las lámparas utilizadas por cada área se detallan en las tablas 3.4 y 3.5

CAPITULO 4

IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES AHORROS DE ENERGIA

4.1 Identificación de los sistemas / equipos de mayor consumo

4.1.1 Sistema de vapor

Los equipos de mayor consumo de energía térmica dentro de la Planta se detallan a continuación:

- Calderos que producen vapor
- Blanchers

- **Calderos que producen vapor**

Para la producción de vapor, la Planta posee 2 calderos los mismos que funcionan a base de combustibles como el diesel y el bunker, los dos calderos son de tubos de fuego. A continuación se detallan las características que tiene cada caldero:

CALDERO CONTINENTAL

ESPECIFICACIONES TECNICAS

CALOR GENERADO: 2512 BTU/HR

POTENCIA: 75 BHP

PRESION DE TRABAJO: 50 PSI

ENTREGA DE VAPOR: 2600 LB/HR.

MAX. PRESION: 100 PSI

COMBUSTIBLE: DIESEL

NOTA: El caldero Continental no posee placa de datos, ni tampoco posee un manual de operación.

CALDERO CLEAVER BROOKS

ESPECIFICACIONES TECNICAS

MARCA: CLEAVER BROOKS

MODELO: CB-600-100-150

SERIE N.- 0L098953

CAPACIDAD: 100 BHP

PRESION DE OPERACIÓN: 135 PSI

PRESION DE DISEÑO: 150 PSI

GENERACIÓN DE VAPOR: 3450 LB/H

COMBUSTIBLE QUEMADOR: BUNKER Y/O DIESEL

COMBUSTIBLE PILOTO: GAS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE: 30 GPH

FASES/CICLO/VOLTAJE

PARA CONTROLES: 1/60/110

CANTIDAD DE PASOS: 4

ALTURA DE TRABAJO: 9500 PIES

FECHA: 1999

SUMINISTRO DE FUENTE PRINCIPAL

VOLTAJE: 440 FASES: 3 FRECUENCIA: 60 Hz AMPERIOS: 16

CORRIENTE MINIMA DE PROTECCION: 17.5 AMP.

CORRIENTE MÁXIMA DE PROTECCIÓN: 64 AMP.

MOTOR DEL SOPLADOR: 3 HP

MOTOR DE COMPRESOR DE AIRE: 2 HP

CALENTADOR DE COMBUSTIBLE: 5 Kw

En la actualidad el caldero Continental se encuentra fuera de funcionamiento ya que con el caldero Cleaver Brooks se suministra lo suficiente vapor para las tres líneas de producción. El caldero Continental se pone en funcionamiento únicamente cuando se realiza mantenimiento al caldero Cleaver Brooks.

El caldero Cleaver Brooks es de 4 pasos, tiro forzado, con tubos de fuego y con 5 pies cuadrados de superficie de calefacción por caballo. El caldero esta montado sobre una base de acero estructural e incluye soportes y material refractario.

- a)** Cuerpo del caldero: Construido de acuerdo a la última edición del código ASME para calderos y recipientes a presión, con el número necesario de registros de mando y un registro pasa-hombre en calderos con diámetro mayor a 48". En la parte mas alta del cuerpo van montadas dos orejas para levantamiento.
- b)** Puertas Frontal y Posterior: Abisagrados o pivoteadas, de fácil apertura para inspección y limpieza de los tubos y espejos con mirillas en cada extremo para e control de la llama.
- c)** Tubo de descarga de gases: Localizada cerca al frente del caldero y en la parte superior.
- d)** Controles de seguridad de llama: Convenientemente localizados en el caldero, suministrado con controles de combustión HONEYWELL.

- e) Aislamiento y cubierta protectora: El aislamiento del caldero consiste de una capa de fibra de vidrio de 2" de espesor, recubierto de una lámina de metal.

A.- ACCESORIOS STANDARD

- a) Columna de agua: Está localizada a mano derecha del caldero (viendo desde el frente), posee tubo de vidrio de nivel, válvula de purga para la columna de agua.
- b) Switch McDonnell & Miller: Para el control de bajo nivel de agua. Una parte actúa automáticamente sobre la bomba impulsada por motor eléctrico para mantener el nivel de agua dentro del caldero entre límites normales. Otra parte se conecta en serie con el circuito de control del quemador para impedir la operación de éste si el nivel de agua baja a niveles críticos.
- c) Controles de presión de vapor: Presostatos Honeywell L91A para modulación de presión, L404A para control de límite de presión y L404C para el control de alto nivel de presión.
- d) Manómetro indicador de presión: Colocado en el extremo frontal del caldero.
- e) Válvula de seguridad: El número, tipo y tamaño según lo que especifica el código ASME. Se encuentra montado sobre la unidad.
- f) Termómetro de chimenea.

g) Bomba de combustible y precalentador: Para el suministro de combustible al quemador y para precalentarlo (solo Bunker).

h) Tableros de control con sus debidas interconexiones.

ESPECIFICACIONES DEL QUEMADOR:

- Combinación con aire atomizado de baja presión para combustible Diesel N.-2
- Piloto con detector electrónico.
- Ignición automática directa por chispa eléctrica.
- Principio del Quemador: MODULACIÓN COMPLETA.
- Regulación de presión de combustible: válvula solenoide para abrir y cerrar flujo de combustible.

ACCESORIOS:

a) ABLANDADOR DE AGUA:

Ablandador de agua, modelo ACC-SAB-90-1-1/4.

Capacidad de intercambio máxima de 90000 granos.

Capacidad de resina 4 pies cúbicos.

b) DOSIFICADOR DE QUÍMICOS:

Equipo dosificador de químicos, modelo, 55-P-1-V-5 consistente de un Tanque de polietileno con 30 galones de capacidad; agitador con motor eléctrico de ¼ HP, 60 RPM, 1/60/115 y una bomba dosificadora modelo V-5 de desplazamiento positivo con motor eléctrico de ¼ HP, 1/60/115.

c) AUXILIAR WARRICK PARA EL CALDERO:

Consiste de un par de electrodos que detienen el caldero cuando el nivel de agua baja mas que el requerido.

d) PUERTA DE ALIVIO

Puerta de alivio de combustión colocada en la tapa posterior de 7" y un área de 38,5 pulgadas cuadradas.

e) DIAGNOSTICADOR DE FALLAS CON ALARMA ACUSTICA:

Detector de fallas electrónicamente, mediante una luz, indica la falla que ha provocado sonar la alarma. La alarma acústica está compuesta de campana de 6" que suena en cualquiera de los siguientes casos: bajo nivel de agua, falla de aire de atomización, falla de llama piloto o ignición, alta temperatura y presión del combustible y del vapor, falla en válvula de combustible.

f) REGULADOR DE PRESION

Para el correcto funcionamiento del Caldero Cleaver Brooks, el tanque diario de bunker debe permanecer a una temperatura de 205 ° F, el mismo que se realiza a través de resistencias que se encuentran en el interior del tanque

diario, también posee una tubería por la cuál ingresa vapor que es producido por el mismo caldero.

Para la distribución de vapor hacia las tres líneas de producción, se tiene un tanque herméticamente cerrado, el mismo que se encuentra a una presión entre los 90 y 100 PSI.

El agua que se suministra tanto a los calderos como a toda la Planta proviene de las vertientes que se encuentra en la hacienda Nintangá, el mismo que llega a 3 piscinas de recolección, el agua llega por gravedad, a un promedio de 12 lt/seg.

El tratamiento del agua es realizada por la empresa **imf** (Tratamiento de aguas industriales – Control de Placas y Saneamiento Ambiental), también es la encargada de suministrar los diferentes productos químicos.

Los productos químicos que se utilizan para el tratamiento de agua, así como los efectos que producen ,son los siguientes:

A.- DESINCRUSTES A 150

1.- Mantener los calderos libre de incrustaciones, permitiendo una óptima transferencia de calor.

2.- Mantener los calderos libres de corrosión, alargando la vida útil del equipo.

- 3.- Calidad óptima del vapor, evitando así, contaminaciones en los productos y procesos de la empresa.
- 4.- Eliminación de oxígeno disuelto en el agua de reposición al caldero.
- 5.- Precipitación de la dureza en el agua del caldero y eliminación paulatina de los depósitos encontrados, es decir una limpieza en operación del caldero.
- 6.- Formación de una película de magnetita protectora de corrosión sobre los tubos y cuerpo del caldero.
- 7.- Mantenimiento de la sílice en suspensión para prevenir incrustaciones.
- 8.- Acondicionamiento de lodos, para facilitar la salida de los lodos precipitados, por las válvulas de purga.

B.- METASOL

- 1.- Inhibe la corrosión, en los metales que están en contacto con METASOL, mediante una protección catódica, en solución acuosa.
- 2.- Evita incrustaciones, sobre los metales en los que se produce transferencia de calor, mediante una inhibición de precipitación, de las sales de calcio y magnesio.
- 3.- Limpia paulatinamente incrustaciones y depósitos, que se encuentran, sobre los tubos del condensador.

C.- BACTECID

1.- Evita y elimina crecimientos de algas, hongos y limos que obstruyen y taponan tuberías y bombas de conducción de agua.

Para continuar manteniendo un control eficiente tanto en los condensadores de enfriamiento como en la caldera, en el mes de Marzo, se procedió a contratar a otra empresa encargada del análisis del agua **AWT**, la misma que continua efectuando estos análisis hasta la fecha.

El vapor que produce el caldero Cleaver Brooks, además de suministrar vapor a los Blanchers de las tres líneas de proceso, este es utilizado para calentar el agua de alimentación, el mismo que lo eleva a los 75°C de temperatura con la cual el agua ingresa al caldero; otra utilización del vapor es para el calentamiento del combustible (Bunker) con el que trabaja el caldero, el cual debe estar en un promedio de temperatura de los 205 °F .

Como se indicó anteriormente, el caldero Cleaver Brooks es el que proporciona vapor a la planta, entonces el estudio técnico se lo efectuará únicamente al caldero citado.

El caldero trabaja las 24 horas al día, 6 días a la semana, por lo que continuamente entrega vapor a los blanchers de las líneas de proceso.

- BLANCHERS

Se utilizan para cocinar los diferentes productos que se procesan, a una determinada temperatura del vapor, está constituida por cintas, las mismas que se encuentra a una determinada velocidad; tanto la temperatura como las velocidades del Blancher se indican en la TABLA 1.3., el blancher se encuentra totalmente cerrado para aprovechar a lo máximo la temperatura del vapor, luego este vapor es enviado hacia el medio ambiente a través de extractores y el condensado hacia el alcantarillado.

En la TABLA 4.1 que se tiene a continuación, se observan la temperatura a la que trabajan los blanchers y el consumo que tienen en cada una de las líneas de proceso. Estos parámetros fueron tomados en base a las informaciones del fabricante de los Blanchers

TABLA 4.1 Temperatura y consumo de vapor de las líneas de proceso

BLANCHERS	PRESION (PSI)	CONSUMO DE VAPOR Lb/h
L1	90	1320
L2	90	1320
L3	90	250

El total del vapor que consumen las tres líneas de proceso es de 2890 lb/h. Para calentar el bunker del tanque diario, así como las pérdidas de vapor que existen, se tiene un consumo promedio de 140 lb/h; teniendo un consumo total de vapor de 3030 lb/h.

4.1.2 Sistema Eléctrico

Una vez realizado el estudio de los diferentes equipos que posee la Planta, se concluye lo siguiente:

- De acuerdo al estudio realizado sobre las caídas de tensión en conductores (TABLA 4.2) teniendo en cuenta la resistencia del calibre del conductor, la longitud y la corriente de trabajo se calcularon estas caídas, las mismas que no deben exceder del 3.5 % de caída nominal de acuerdo a la Empresa Eléctrica.
- En lo referente a los datos, los cuáles fueron proporcionados por ELEPCO S.A. y las curvas de potencias activa y reactiva (ANEXO N.- 3) se observa que existen variaciones bruscas de demanda.
- El factor de potencia se registro en los meses de Octubre y Noviembre en un valor bajo 0,90 y 0.88 respectivamente, por lo que la empresa PROVEFRUT fue penalizada por bajo factor de potencia; desde Diciembre la empresa registra un factor de potencia promedio de 0.93, la misma que fue compensada con la instalación de otro banco de capacitores, sin existir inconvenientes hasta la actualidad.

- En lo que se refiere a la iluminación de la planta (TABLA 3.4) ésta se encuentra en condiciones deficientes, ya que en las áreas en las que se necesita mayor iluminación, no la existe; trayendo consigo molestias para el personal.
- En la TABLA 4.2 se tienen los parámetros de funcionamiento de todos los equipos, y según la tabla, nos indica los equipos de mayor consumo de energía; la TABLA 4.3 nos muestra las características de los conductores usadas para el cálculo de funcionamiento de los equipos.

4.2 Análisis detallado de los sistemas/equipos de mayor consumo

4.2.1 Sistema de vapor

4.2.1.1 Calderas para la producción de vapor

Un análisis detallado consiste en tener un conocimiento claro de cómo se encuentra funcionando un equipo realmente, esto se logra mediante la utilización de fórmulas y la aplicación de datos que se obtuvieron anteriormente.

- Calculo de la eficiencia

Los gases de escape de una caldera indican las condiciones de eficiencia que ésta tiene en su operación. Para que una caldera opere en las mejores condiciones de eficiencia, se deben considerar los siguientes aspectos:

- 1.- Los quemadores deben calibrarse o ajustarse apropiadamente.

2.- Se debe operar en condiciones de temperatura y presión recomendados por el constructor; y,

3.- Se debe chequear el sistema de combustible, y ver que no existan fugas.

Es importante como afectan al valor de la temperatura de chimenea; la eficiencia de la caldera y la lectura del CO₂. Un incremento de CO₂ resulta como consecuencia de un decremento del exceso de aire y consecuentemente una disminución de la temperatura de la chimenea. La relación de CO₂ y la temperatura de los gases de escape es muy cercana. Una buena combustión consigue la máxima cantidad de energía disponible; cualquier exceso de aire evidenciado por la disminución por la disminución de CO₂ disminuye la eficiencia de combustión y reduce la disponibilidad de energía. Una vez que esta energía se entrega a la caldera, la temperatura de chimenea gana importancia, debido a que permite observar que cantidad de energía absorbe la caldera. Una relación directa establece que cuando el exceso de aire es causa para el incremento de la temperatura de la chimenea, cualquier incremento de CO₂ llevaría consigo una disminución del exceso de aire y la temperatura de la chimenea. La Tabla 4.4 indica este fenómeno.

En el mes de Abril la compañía Xp3 PRODIESEL CIA. LTDA. efectúa un reporte de análisis de los gases de combustión del caldero Cleaver Brooks; en la TABLA 4.5 se indican los parámetros que se obtuvieron durante el análisis realizado.

En este análisis se puede observar que conjuntamente con las Tablas 4.4 y 4.5 se obtuvo la eficiencia del caldero con la que se encuentra trabajando en la actualidad.

De acuerdo los análisis realizado por la empresa Xp3 (Tabla 4.5), la eficiencia del caldero se encuentra trabajando en un promedio del 85.6 %.

En resumen se puede decir que el caldero se encuentra operando en óptimas condiciones.

4.2.1.2. Generación de vapor

Para el cálculo de la cantidad de vapor que genera la unidad partimos de un valor constante que dice:

“Por cada BHP que tiene un caldero, el consumo de agua va ha incrementarse en 4.12 gal/h”¹

Como la cantidad de agua que entra en la caldera se transforma en la misma cantidad que sale en forma de vapor, entonces tenemos la cantidad de generación de vapor que nos proporciona el caldero en base a los BHP que tiene el mismo.

$$\text{Generación de vapor} = 100 \text{ BHP} * 4.12 \text{ gal/h}$$

¹ Empresa AWT, Análisis de Agua.

Generación de vapor = 412 gal/h.

La cantidad de vapor generado se debe expresar en lb/h, para lo cual se realiza la siguiente transformación.

Datos:

- Densidad promedio del agua a 100°C = 958.10 Kg/m³ ²
- 1 litro = 0.2642 gal.
- 1 m³ = 1000 lt.
- 1 kg = 2.2 lb.

Entonces, tenemos

$$412 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 958.10 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ Lt}}{0.2642 \text{ gal}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt.}} * \frac{2.2 \text{ Lb.}}{1 \text{ Kg.}}$$

Generación de vapor = 3287 lb/h.

De acuerdo a la cantidad de vapor generado con lo consumido por las líneas de proceso, se tiene una merma de 257 lb de vapor; para una futura ampliación se debe poner en funcionamiento el caldero continental.

Cabe mencionar que no todas las líneas de proceso trabajan por igual, sino en forma simultánea, lo que significa que tanto la cantidad de entrada de agua como el vapor generado van a variar dependiendo de la cantidad de carga

² Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, pag. 6-8

que exista en un determinado momento. Para los cálculos descritos anteriormente se tomo como referencia la máxima carga que tiene la planta, es decir cuando las tres líneas se encuentran procesando.

CAPITULO 5

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES

5.1 Alternativas de soluciones para mejorar el consumo y evitar el desperdicio

5.1.1 Sistema de vapor

5.1.1.1 Control de purgas

La purga es el proceso de extracción de una cierta cantidad de agua del interior del caldero con el objeto de evitar la concentración excesiva de sólidos disueltos en el agua del caldero.

Cuando se purga se produce una pérdida de energía, si embargo, es necesario purgar el caldero para remover para remover los sólidos disueltos que pueden depositarse como incrustaciones en las superficies de transferencia de calor dentro del caldero.

Si la concentración es menor que la permisible se está purgando demasiado, con la consiguiente pérdida de agua, químicos y energía.

Si la concentración es mayor se produce un exceso de incrustaciones que bajan la eficiencia en la transferencia de calor y producen deterioro en el caldero.

Los objetivos específicos de la purga pueden ser un tanto diferentes para calderos de baja y mediana presión y para calderos de alta presión.

Para calderos de baja y mediana presión el objetivo fundamental es el control del total de sólidos totales disueltos (TDS) permisible. Para calderos de alta presión el factor determinante puede ser el contenido de sílice que a altas presiones es parcialmente soluble en el vapor y que puede depositarse en los equipos que utilizan vapor a elevada presión. Por ejemplo en los alabes de una turbina de vapor, haciendo disminuir el rendimiento.

Para calderos de tubos de fuego el nivel permisible de sólidos totales disueltos se encuentra entre 2500 y 3500 p.p.m. (partes por millón) y el de sílice entre 75 y 100 p.p.m., no existiendo ningún peligro de arrastre de sílice.³

³ Empresa AWT, Análisis de agua

Para calderos de tubos de agua el nivel permisible del contenido de sólidos totales disueltos y de sílice en el agua del caldero es función de la presión de operación.

Calculo del flujo másico de purgas

Para la realización de los cálculos que tenemos a continuación, se tomaron los valores correspondientes de acuerdo al análisis de agua realizada por la empresa **awt**, estos valores se observan en el ANEXO 4

El cálculo del flujo másico de purgas en Kg/h puede realizarse con la siguiente expresión:

$$\text{Flujo Másico De purgas} = \frac{(\text{TDS en agua alimentación}) (\text{flujo másico de vapor})}{\text{TDS en agua caldero} - \text{TDS en agua alimentación}}$$

Se tiene los siguientes datos:

Producción de vapor	3030 lb/h (1377.2 Kg/h)
TDS en el agua de alimentación	490 ppm.
TDS permisible en el agua del caldero	3500 ppm.

Entonces, reemplazando tenemos:

$$\begin{array}{l} \text{Flujo} \quad \quad \quad (490) (1377.2) \\ \text{Másico} \quad = \quad \frac{\quad}{\quad} = 224.2 \text{ Kg/h} \\ \text{De purgas} \quad \quad \quad 3500 - 490 \end{array}$$

Una fuente para reducir la tasa de purgas es el tratamiento adecuado del agua de alimentación, pues con la reducción del TDS en el agua de alimentación la cantidad de purgas disminuye.

Por ejemplo, si con un tratamiento adecuado del agua de alimentación se baja el STD de 490 a 200 ppm, el nuevo flujo másico sería:

$$\begin{array}{l} \text{Flujo másico de purgas} = \frac{(200) (1377.2)}{3500 - 200} \end{array}$$

$$\text{Flujo másico de purgas} = 83.5 \text{ Kg / h}$$

Este valor comparado con el anterior nos significa un ahorro, considerando una reducción del TDS del agua de alimentación.

Costos de ejecución

Ninguno. Se necesita únicamente instruir a los operadores de los calderos respecto a la nueva tasa de purga.

Regulación de purgas

STD actual del caldero 3900 ppm.

STD óptimo del caldero 3500 ppm.

$$\text{Relación de purgas} = \frac{3900}{3500} = 1.11$$

Purga por turno de 8 horas = 1 veces, 20 seg. Cada vez (actualmente)

$$\text{Purga recomendada} = \frac{1 * 20 * 1.11}{15} = 1.5 \text{ veces} = 2 \text{ veces.}$$

Duración del purgado = 15 segundos.

Número de purgas por turno = 2

Esta tasa de purgas se recomienda en base a los STD que tiene el caldero actualmente.

5.1.1.2 Caídas de presión en tuberías de vapor.

Para el cálculo de las caídas de presión en las tuberías de vapor que se tienen desde el tanque distribuidor hasta las líneas de proceso, se parten de los siguientes datos:

- Flujo másico de vapor L1 1320 Lb/h

- Diámetro de tubería L1 1 ½ “
- Longitud de tubería L1 49,215 pies
- Presión L1 100 PSI
- Flujo másico de vapor L2 1320 Lb/h
- Diámetro de tubería L2 1 ½ “
- Longitud de tubería L2 95,149 pies
- Presión L2 100 PSI
- Flujo másico de vapor L3 250 Lb/h
- Diámetro de tubería L3 1 ½ “
- Longitud de tubería L3 131,24 pies
- Presión L3 100 PSI

Del catálogo de productos Spirax Sarco, página 9.07, Dimensionamiento de la tubería de vapor, se obtiene la caída de presión.

El gráfico de la caída de presión en las líneas de vapor, se observa en el ANEXO 5

Mediante el uso del gráfico y de los datos indicados anteriormente, se obtuvieron las caídas de presión en las tres tuberías de las líneas de vapor, estos valores son:

- Caída de presión L1 1,96 PSI
- Caída de presión L2 3,8 PSI

- Caída de presión L3 2,09 PSI

Para obtener las caídas de presión en el gráfico, se debe entrar con el flujo de vapor en Lb/h, seguir en forma vertical hacia arriba hasta interceptar la línea correspondiente al diámetro de la tubería. Leer horizontalmente en el eje de la caída de presión; este valor se encuentra expresado en psi/100 pies.

Como en estos casos, la caída de presión corresponde a una presión de 100 PSI que son las que se tienen en las líneas de proceso. Si se tienen otros valores de presiones, la caída de presión se debe multiplicar por el factor de corrección.

De esta forma, se observa que no existe una caída de presión considerable en las tuberías, para evitar estas caídas se recomienda utilizar tuberías de mayor diámetro o a su vez evitar que trabajen a elevadas presiones de vapor.

5.1.2 Sistema Eléctrico

5.1.2.1 Reducir el consumo de energía disminuyendo los arranques de los motores UNISAB de los compresores de refrigeración.

JUSTIFICACION

Muchas veces la duración efectiva de los motores es determinada no solo por el número total de horas que han trabajado, sino también por el número de

arranques que han tenido. Hay dos factores que en forma individual o combinada pueden ocasionar la falla de un motor cuando trabaja por ciclos. El primero es la temperatura sobreelevada, y el segundo los considerables esfuerzos electromagnéticos impuestos durante el período de arranque.

Los aislamientos de los devanados de un motor son muy sensibles a la temperatura. Una regla empírica establece que la duración del aislamiento se reduce a la mitad por cada 8 a 12 °C de aumento de la temperatura por encima de la especificada.⁴

Debido a que el efecto del calentamiento es proporcional al cuadrado de la intensidad, la corriente promedio durante el arranque “que es seis veces mayor que el amperaje a plena carga” hace que la temperatura del motor aumente con rapidez. Cuando se efectúa el arranque de un motor, la temperatura se eleva muy rápidamente en los devanados del estator y el rotor. Ocurre muy poca transferencia de calor desde los devanados hacia el núcleo de acero circundante. Además, los ventiladores impulsados por el eje del motor son poco eficaces hasta que el motor adquiera su velocidad nominal.

Como resultado, si se realizan unos cuantos arranques consecutivos, la temperatura excederá los límites térmicos de los devanados del estator o del rotor.

⁴ Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos, R.J.Lawrie

La resistencia dieléctrica del aislamiento se reduce cuando se eleva la temperatura y, con ello, los devanados son más susceptibles a los cortocircuitos. La vibración en especial durante los períodos de arranque largos, también se reflejará en una posible falla mecánica de los devanados.

SOLUCION:

El propósito del Sistema de Control UNISAB II es de monitorizar, asegurar el control y la regulación de los compresores recíprocos y de tornillo. De acuerdo con las presiones y temperaturas del compresor, el UNISAB II contiene diferentes vías de control/regulación de capacidad y esta se puede regular tanto manual como automáticamente.

Además se han incorporado algunas funciones de limitación, las cuales en los períodos de sobrecarga intervendrán y limitarán la capacidad del compresor hasta que la situación haya retornado a las condiciones normales. Esto supone una considerable reducción de paros de funcionamiento no deseados y consecuentemente también una considerable reducción en las necesidades de supervisión.

Los compresores equipados con el Sistema de Control UNISAB II se pueden acoplar por medio del sistema de comunicación incorporado, para que

puedan trabajar en un sistema frigorífico común, optimizando así el funcionamiento de todos los compresores.

El MULTISAB es un sistema de control distribuido de compresores, el cuál puede regular la capacidad en compresores recíprocos y/o de tornillo de acuerdo con las normas detalladas de regulación descritas a continuación:

1. El sistema está controlado y optimizado de acuerdo con la presión de aspiración, temperatura de salmuera, presión de descarga o la señal externa de 4 – 20 mA, dependiendo del control que se haya escogido
2. La secuencia de arranque programada se sigue siempre.
3. Los compresores de tornillo funcionan siempre a la capacidad máxima posible.
4. Es aceptable el funcionamiento a carga parcial de los compresores recíprocos.
5. El MULTISAB conecta en paralelo hasta un máximo de 14 compresores en uno y en el mismo sistema de comunicación.
6. Siempre un compresor trabajará como patrón y es el que enviará los mandos para los demás compresores en este caso llamados esclavos, el compresor patrón siempre trabajará al 100 % de su capacidad, los únicos que variarán la capacidad son los esclavos.

De esta manera se logrará, una vez que se hayan conectado entre sí los compresores; que los compresores esclavos vayan regulando su capacidad en

función de la carga que vaya variando, dependiendo en este caso de las líneas que entren o salgan de funcionamiento.

Para obtener un funcionamiento correcto de la comunicación entre varios ordenadores SABROE , el cable de alimentación debe conectarse en paralelo desde uno a otro control. En el primero y en el último control el cable debe terminar correctamente. La resistencia de 120 ohms debe estar fijada tal como está indicada. Sobre todos los otros controles la resistencia se desmonta y los terminales se utilizan para pasar el cable de comunicación. La longitud del cable entre los controles no debe superior a 1000 m.

La conexión de los compresores con el cable de alimentación se observa en la figura siguiente.

Con lo descrito anteriormente, vamos a reducir la cantidad de arranques de los compresores, y únicamente éstos se apagaran si existiese una carga mínima para los compresores.

De esta manera vamos a lograr que los compresores arranquen cada vez que entre en funcionamiento una línea de proceso y evitamos las consecuencias antes mencionadas que traen consigo los excesivos arranques de un motor y por ende vamos a tener un ahorro de energía considerable.

5.1.2.2 Cambio de luminarias en distintas áreas de trabajo

JUSTIFICACION

Una iluminación adecuada es fundamental para el desarrollo de nuestra vida. Durante el día, la luz nos suministra el sol, en los lugares donde sus rayos tienen acceso. No obstante, durante la noche, o en aquellos sitios donde la luz solar es insuficiente o no penetra, nos servimos de la luz eléctrica. La luz eléctrica es el tipo de luz artificial mas cómoda, limpia, segura e higiénica que existe. De tal manera, debe ser utilizada en forma eficiente y económica.

Según la tabla 3.4 sobre los niveles de iluminación que posee actualmente la planta, se recomienda los siguientes cambios referente a las luminarias por cada área en la tabla 5.1 De esta manera se pretende mejorar el sistema de iluminación y que su costo de mantenimiento sea lo mas bajo posible.

TIPOS DE LAMPARAS ELECTRICAS A REEMPLAZAR EN LA PLANTA

Las lámparas eléctricas son fuentes luminosas artificiales. A continuación se exponen los tipos de lámparas recomendados.

1. LAMPARAS FLUORESCENTES

En estas lámparas la luz se emite por sustancias que cubren su interior al llegarles radiación ultravioleta, que produce la descarga en vapor de mercurio a baja presión. Son regulables mediante equipos electrónicos, conservándose un rendimiento aceptable del 65 %.

La forma usual de las lámparas fluorescentes es tubular y circular.

Como características básicas se enumeran las siguientes:

Por el tipo de encendido.- El de precalentamiento, el de encendido rápido y las de encendido instantáneo.

Por su color.- Existen de color blanco cálido, blanco frío, luz día.

Eficacia luminosa.- Dada la variedad de tipos existentes son muy variables, entre 50 y 80 lm / W.

1.4 Vida media.- Depende mucho del tipo y de la forma de su utilización, variando entre 4000 y 2000 horas.

En cuanto a las condiciones de utilización cabe destacar las siguientes:

1.1 El número y tipo de encendidos influye decisivamente en la vida de los fluorescentes.

1.2 Los consumos en los aparatos auxiliares pueden estimarse en un campo de variación de alrededor al 10 % del consumo en el fluorescente.

1.3 Las variaciones en la tensión del suministro los afectan reduciendo el flujo luminoso emitido. Si existe riesgo de estos efectos se deben elegir balastos adecuados que atenuarían esta disminución y al mismo tiempo mejorarían la vida y las condiciones de encendido.

2. LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS

Son lámparas de mercurio a las que se añaden ciertos halogenuros metálicos de tierras raras (yoduros de indio, disprosio, talio, sodio, holmio, tulio, europio). Tanto su economicidad como su color son excelentes.

Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide, este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

- Potencias : 175, 250, 360, 400 W
- Rendimiento luminoso : Entre 68 y mas de 100 lm / W
- Luminancia media : 700 cd/m²
- Vida media: : La duración de un lote significativo de lámparas oscila entre 15000 y 20000 h.

En la tabla 5.2 se observa un resumen de los tipos de lámparas eléctricas que existen con sus respectivas características

Cálculos:

En los cálculos se toma en cuenta los parámetros de tiempo de utilización, potencia, vida útil, inversión y costo para el cálculo de energía consumida anualmente.

a) Costo actual anual de energía

- Fluorescentes de 40 W

$$\text{Costo energía fluores.} = \frac{\# \text{ fluores.} * \text{Pot. Fluores.} * \text{horas de uso} * \text{costo Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía fluores.} = \frac{153 \text{ fluores.} * 40 \text{ W} * 3432 \text{ h} * .0895}{1000}$$

$$\text{Costo energía fluoresc.} = 1879,84 \text{ USD}$$

- Lámparas de 400 W

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{\# \text{ lámp.} * \text{Pot. lámp.} * \text{horas de uso} * \text{costo Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{4 \text{ lámp.} * 400 \text{ w} * 8640 \text{ h} * 0.0895 \text{ USD/Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lamp.} = 1237,24 \text{ USD}$$

- Lámparas de 250 W

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{\# \text{ lámp.} * \text{Pot. lámp.} * \text{horas de uso} * \text{costo Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{35 \text{ lámp.} * 250 \text{ w} * 3432 \text{ h} * 0.0895 \text{ USD/Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lamp.} = 2687,68 \text{ USD}$$

- Lámparas de 150 W

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{\# \text{ lámp.} * \text{Pot. lámp.} * \text{horas de uso} * \text{costo Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lámp.} = \frac{13 \text{ lámp.} * 150 \text{ w} * 3432 \text{ h} * 0.0895 \text{ USD/Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lamp.} = 598,96 \text{ USD}$$

- Incandescentes de 100 W

$$\text{Costo energía incan.} = \frac{\# \text{ incan.} * \text{Pot. lámp.} * \text{horas de uso} * \text{costo Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía incan.} = \frac{8 \text{ incan.} * 100 \text{ w} * 3432 \text{ h} * 0.0895 \text{ USD/Kw-h}}{1000}$$

$$\text{Costo energía lamp.} = 245,73 \text{ USD}$$

Entonces, el costo anual de energía actualmente se tiene:

Costo actual de energía = Costo de energía (fluorescentes + lámparas de
400 W, 250 W, 150 W + incandescentes 100 W)

Costo actual de energía = (1879,84 + 1237,24 + 2687,68 + 598,96 + 245,73)

Costo actual de energía = 6649,45 USD ANUALES

b) Costo propuesto de energía

- Fluorescentes de 32 W

Costo energía fluores. = $\frac{\# \text{ fluores.} * \text{Pot. Fluores.} * \text{ horas de uso} * \text{ costo Kw-h}}{1000}$

Costo energía fluores. = $\frac{169 \text{ fluores.} * 32 \text{ w} * 3432 \text{ h} * 0.0895}{1000}$

Costo energía fluoresc. = 1661,14 USD

- Lámparas de 250 W

Costo energía lámp. = $\frac{\# \text{ lámp.} * \text{Pot. lámp.} * \text{ horas de uso} * \text{ costo Kw-h}}{1000}$

Costo energía lámp. = $\frac{79 \text{ lámp.} * 250 \text{ w} * 5000 \text{ h} * 0.0895 \text{ USD/Kw-h}}{1000}$

Costo energía lamp. = 8838.12 USD

Entonces, el costo total propuesto de energía se tiene:

Costo total prop. de energía = costo energía fluores. + costo energía lámp.

Costo total prop. de energía = (1661,14 + 8838,12) USD

Costo total prop. de energía = 10499,26 USD ANUALES

c) Costo de reposición:

- Fluorescentes de 32 W

Costo reposición fluores. = $\frac{\# \text{ fluores.} * \text{ horas de uso} * \text{ precio fluorescente}}{\text{Vida útil}}$

Costo reposición flures. = $\frac{169 \text{ fluorescentes} * 3432 \text{ h} * 25 \text{ USD}}{8000}$

Costo reposición fluores. = 1812,52 USD

- Lámparas de 250 W

Costo reposición lámp. = $\frac{\# \text{ lámparas} * \text{ horas de uso} * \text{ precio lámpara}}{\text{Vida útil}}$

Costo reposición lámp. = $\frac{79 \text{ lámparas} * 5000 \text{ h} * 118 \text{ USD}}{17500 \text{ h}}$

Costo reposición lámp. = 2663,42 USD

Entonces, el costo total de reposición se tiene:

Costo total de reposición = costo reposición (fluorescentes + lámparas)

Costo total de reposición = (1812,52 + 2663,42) USD

Costo total de reposición = 4475,94 USD

d) Amortización simple:

Tiempo de amortización = $\frac{\text{Costo lámp. Ahorr.} - \text{Costo lámp. Conv.}}{\text{Ahorro por concepto de energía.}}$

**Tiempo de amortización = (25 USD * 169 fluores. + 118 USD * 79 lámp.) -
(16 USD * 153 fluores. + 160 USD * 4 lámp.
+ 85 USD * 35 lámp. + 50 USD * 13 lámp.
+ 0.30 USD * 8 incandes.)**

Tiempo de amortización = $\frac{(13547 - 6715,4)}{10499,26 - 6649,45}$.

Tiempo de amortización = 1,77 años

En la Tabla 5.3 se indica la distribución de los aparatos de iluminación, así como la altura útil de trabajo para cada área o departamento

En el ANEXO 6 se muestra la distribución de las luminarias en las distintas áreas de trabajo.

En lo que se refiere al cambio de fluorescentes, lo mejor sería, sustituir los fluorescentes T12 (40 W) por fluorescentes T8 (32 W) a medida que se vayan quemando.

5.1.2.3 Cambio de motores estándar por motores de alta eficiencia.

La reducción de las pérdidas en los motores eléctricos constituye un campo en extremo promisorio para el ahorro de energía. La optimización de los niveles de iluminación y los sistemas de alumbrado de alta eficiencia han sido objeto de investigación, atención pública y reglamentación gubernamental considerables; sin embargo, la iluminación solo representa, por ejemplo, alrededor del 20 % del consumo de energía eléctrica, otro 16 % se utiliza en calefacción y aplicaciones diversas. Con mucho, la aplicación mas extensa de la energía eléctrica se da en los motores que representa un 64 % o sea casi dos terceras partes de toda la energía eléctrica utilizada.

A fin de minimizar las pérdidas en los motores; actualmente se disponen de motores de alta eficiencia con menores pérdidas para una carga dada que los motores ordinarios, y los cuales a menudo ahorran en muy corto tiempo la energía suficiente para compensar el sobrepeso que significa su adquisición.

Los motores de alta eficiencia se eligen cuando el ahorro por concepto de energía compensa el mayor costo inicial. Sin embargo, existen otros beneficios que obtienen los usuarios. Por tener menores pérdidas, estos motores funcionan a temperatura mas baja. Una menor temperatura de operación mejora también la

capacidad de sobrecarga del motor, ya que si los aislamientos se encuentran a temperatura mas baja, es factible sobrecargar el motor durante mas tiempo y en mayor porcentaje antes de que los aislamientos alcancen la máxima temperatura total permisible.

En general se puede decir que los motores de alta eficiencia, además de compensar su mayor costo inicial por medio de un ahorro de potencia, también tiene mayor vida útil y una gama de aplicaciones mas amplia que los motores de tipo estándar.

Descripción del cálculo

Antes de la descripción del cálculo debemos tomar en cuenta que para un motor estar sobredimensionado debe tener una potencia de trabajo menor al 50 % de la nominal, para estar subdimensionado debe tener la corriente o potencia de trabajo un 10 % mayor a la nominal.⁵

Costos de ejecución

De acuerdo a las TABLAS 3.3 y 4.2, se observa que los motores se encuentran trabajando dentro de los límites establecidos, es decir que no se encuentran sobredimensionados ni subdimensionados.

⁵ Catálogo de la SIEMENS Motores Eléctricos

Para el cambio de un motor estándar por uno de alta eficiencia es importante reconocer que el costo inicial de un motor suele ser varias veces mayor que su costo inicial. Es posible comparar esto con el ejemplo siguiente:

Un motor eléctrico de 20 hp con una eficiencia normal promedio del 88 % tiene un precio inicial aproximado de 450 USD y demanda alrededor de 17 KW de potencia. Si este motor opera en dos turnos diarios, o sea 80 horas por semana durante 50 semanas, o 4000 horas al año, su consumo anual de energía será de 68000 KW – h. A un precio promedio de cuatro centavos de dólar el kilowatt hora, la energía necesaria para operar tal motor costaría 2720 USD anuales; es decir, más de seis veces el precio inicial del motor. Únicamente el costo de las pérdidas de un 12 %, sería de 326 USD al año, por lo cual en 1.5 años el costo de las pérdidas excederá el precio del motor nuevo. Un motor de alta eficiencia que tuviera sólo un 8 % de pérdidas representaría un ahorro de 118 USD anuales con un precio inicial de 112 USD más alto. Este motor recuperaría en el primer año de servicio el costo extra que representa su adquisición.

Normalmente, el período de recuperación para motores de alta eficiencia es de uno a dos años, después de lo cual el ahorro acumulado de energía sigue aumentando durante el tiempo de vida efectiva del motor.⁶

⁶ Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos R.J.Lawrie

En la TABLA 5.4 se tiene la comparación entre un motor estándar y uno de alta eficiencia del ejemplo expuesto anteriormente.

TABLA 5.4

Comparación de costos de motores				
Base de Comparación	Motor		Diferencia	Comentarios
	Motor estándar	de alta eficiencia		
Precio de compra	450 USD	562 USD	112 USD	25% mayor
Eficiencia	88 %	92 %	4 %	4.5% mayor
Pérdidas	12 %	8 %	4 %	1/3 menor
Costo anual de energía	2713 USD	2595 USD	118 USD	4.5% menor
Costo anual de pérdidas	326 USD	208 USD	118 USD	36.2% menor

Supuestos:

Motor de inducción de 20 hp, 480 V

Costo de energía: 0.04 USD / KW – h

Tiempo de operación: 4000 h/año (2 turnos/día, 50 semanas/año)

$$\text{Costo anual de energía} = \frac{0.746 \text{ KW/hp} * 20 \text{ hp}}{\text{Efic} (\%) * 0.01} * 0.04 \text{ USD/KW-h} * 4000 \text{ h}$$

$$\text{Costo anual de pérdidas} = \text{costo anual de energía} * 0.01 * \text{pérdidas} (\%)$$

En la Tabla 5.5 se presentan los métodos para evaluar los ahorros derivados del uso de motores de alta eficiencia.

TABLA 5.5

$$C = \frac{0.746 * (hp) * H * P}{E}$$

E

$$S = C_{std.} - C_{ef.}$$

Donde:

C = costo anual de operación (unidad monetaria)

C_{std.} = costo del motor estándar

C_{ef.} = costo del motor de alta eficiencia

H = tiempo de operación del motor (h/año)

P = Costo de la energía eléctrica (unidad monetaria / KW – h)

E = Eficiencia del motor estándar

E_{std.} = Eficiencia del motor estándar

E_{ef.} = Eficiencia del motor de alta eficiencia

S = ahorro anual por el uso de motores de alta eficiencia (unidad monetaria)

Recuperación simple

$$Y = \frac{D}{S}$$

Donde:

Y = tiempo de recuperación (años)

D = diferencia de costos entre un motor de alta eficiencia y un motor estándar.

Como observación se puede decir que, cuando un motor se avería puede ser reemplazado o, más comúnmente rebobinado. Un factor que se debe considerar es el hecho que al rebobinar un motor pueden incrementarse las pérdidas, lo cual reduce su eficiencia. Se ha encontrado que el uso excesivo de calor al retirar el devanado antiguo daña la resistencia del aislamiento interlaminar del núcleo, con lo que aumenta la pérdida por corriente parásita.

5.2 Programa de seguimiento

5.2.1 Plan de acción

El plan de acción constituye la ayuda para la ejecución de la conservación de la energía que se identificaron en el estudio; En la TABLA 5.6 se señalan las medidas, el tiempo de implantación y la acción requerida para lograr el objetivo propuesto

5.2.2 Monitoreo

En el monitoreo nos permite identificar potenciales de ahorro e implementar acciones orientadas a incrementar la eficiencia global de la empresa, con relativamente bajos costos de inversión. El monitoreo debe permitir obtener las mayores ventajas económicas.

El monitoreo de los equipos que han sido objetos de estudio, se detallan en la TABLA 5.7

5.2.3 Capacitación

La capacitación consiste en educar y concienciar a los obreros sobre la correcta utilización de la energía en la Empresa.

La capacitación de los obreros por parte de la planta se detalla en la TABLA 5.8

CAPITULO 6

Corrientes de cortocircuito de la empresa PROVEFRUT S.A.

La asociación de Electrotécnicos Alemanes (Verband Deutscher Elektrotechniker) VDE prescribe que, además de registrar las solicitaciones permanentes que se originan durante el servicio normal, por ejemplo, por la intensidad y la tensión de servicio, hay que considerar también las solicitaciones o efectos en caso de cortocircuitos. Debido a que las intensidades de cortocircuito alcanzan generalmente valores varias veces superiores a las intensidades nominales

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se ha aplicado el de la SIEMENS (VDE 0102) ANEXO 7 (Figura 1.11/62a)

A continuación se expondrán diagramas, tablas y algunas ecuaciones relativas a los datos característicos más importantes de los medios de servicio, que es preciso conocer para el cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Impedancias de los medios de servicios

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito es necesario conocer los valores de las impedancias de los distintos medios de servicio los mismos que son indicados por el fabricante, a continuación se exponen las fórmulas más importantes para determinar los valores de impedancia partiendo de los datos característicos.

Generadores síncronos

Reactancia inicial

$$X''_d = \frac{x''_d * U_{NG}^2}{100\% * S_{NG}} \text{ [ohmios/fase]}$$

Donde:

S_{NG} = Potencia nominal del generador en MVA.

U_{NG} = Tensión nominal del generador en KV

x''_d = Reactancia inicial reactiva en % (reactancia subtransitoria)

$R_G = 0,05 * X''_d$ en generadores con potencias nominales superiores a 100 MVA

$R_G = 0,07 * X''_d$ en generadores con potencias nominales menores ⁷

Z'' = Impedancia subtransitoria de cortocircuito

⁷ Instalaciones Eléctricas, SIEMENS, Tomo 1, pag. 160

$Z'' = \text{raíz cuadrada } (R_G^2 + X''^2) \text{ [ohmios]}$

Motores síncronos y máquinas de potencia reactiva

El cálculo se lo efectúa al igual que los generadores síncronos.

Transformadores

Resistencia óhmica

$$R_T = \frac{u_r \cdot U_{NT}^2}{100\% \cdot S_{NT}} \text{ [ohmios/fase]}$$

Reactancia inductiva

$$X_T = \frac{u_x \cdot U_{NT}^2}{100\% \cdot S_{NT}} \text{ [ohmios/fase]}$$

Donde:

S_{NT} = Potencia nominal del transformador en MVA

U_{NT} = Tensión nominal del transformador en KV

u_r = Caída relativa de tensión, óhmica, en %

u_x = Caída relativa de tensión, inductiva, en %

u_z = Tensión relativa de cortocircuito, en %

u_x = raíz cuadrada $(u_z^2 - u_r^2)$

$Z' = \text{raíz cuadrada } (R_T^2 + X_T^2) \text{ [ohmios]}$

Cables o conductores

Resistencia óhmica

r' [ohmios/Km]

$$Z_L = l (r' + jx')$$

l = distancia del conductor en Km

$Z' = \text{raíz cuadrada } (r'^2 + x'^2) \text{ [ohmios]}$

Reactancia inductiva

x' [ohmios/Km]

Aclaraciones de conceptos

Corriente de cortocircuito

Es la que fluye por el punto defectuoso mientras dura el cortocircuito.

Corriente alterna de cortocircuito

Es la componente de la corriente de cortocircuito a la frecuencia de servicio.

Corrientes parciales de cortocircuito

Son las componentes de la corriente de cortocircuito en los diferentes ramales de la red.

Intensidad inicial de cortocircuito en corriente alterna I''_k

Es el valor eficaz de la intensidad de la corriente alterna de cortocircuito en el momento de establecerse éste.

Impulso de la corriente de cortocircuito I_s

Es el máximo valor instantáneo de la intensidad de la corriente después de producirse el cortocircuito (valor pico).

Intensidad de ruptura en corriente alterna I_a

Al desconectar un interruptor en caso de cortocircuito, es el valor eficaz de la intensidad de la corriente alterna de cortocircuito, que fluye a través del interruptor en el momento de la primera separación de los contactos.

Tensión nominal UN

Es la existente entre los conductores y según la cual se designa la red.

Potencia inicial de cortocircuito en corriente alterna S''k

Es igual al producto (raíz) $3 * I''k * UN$.

Cálculos:

El generador de la empresa PROVEFRUT S.A. es 570 KVA, 440 V (Datos de placa)

Reactancia del generador XG

$$X_G = X''_d = \frac{x''_d * U_{NG}^2}{100\% * S_{NG}} \text{ [ohmios/fase]}$$

$$U_{NG} = 440 \text{ V}$$

$$S_{NG} = 570 \text{ KVA}$$

$$x''_d = 12,5 \% \text{ (Reactancia subtransitoria del generador) ANEXO 7 (Tabla 1.3/2)}$$

$$X_G = X''_d = \frac{12,5\% * 0,44^2 \text{ KV}^2}{100\% * 0,57 \text{ MVA}}$$

$$X_G = X''_d = 0,0424 \text{ [ohmios/fase]}$$

Resistencia del generador

$$R_G = 0,07 * X''_d$$

$$R_G = 0,07 * 0,0424$$

$$R_G = 0,002968 \text{ [ohmios/fase]}$$

Impedancia subtransitoria de cortocircuito

$$Z'' = \text{raíz cuadrada } (R_G^2 + X''_d^2) \text{ [ohmios]}$$

$$Z'' = \text{raíz cuadrada } [(0,002968)^2 + (0,0424)^2]$$

$$Z'' = 0,0425 \text{ [ohmios]}$$

Intensidad inicial de cortocircuito en corriente alterna $I''_k = F1$ (al momento de la falla)

$$I''_k = \frac{c * U_N}{\text{Raíz } (3) * Z''_k}$$

$$\text{Raíz } (3) * Z''_k$$

$$c = 1.1 \text{ Factor según VDE 0102 }^8$$

$$U_N = 440 \text{ V}$$

$$Z''_k = Z'' = 0,0425 \text{ [ohmios]}$$

$$I''_k = \frac{1.1 * 440 \text{ V}}{\text{Raíz } (3) * 0,0425 \text{ ohmios}}$$

$$\text{Raíz } (3) * 0,0425 \text{ ohmios}$$

⁸ Instalaciones Eléctricas, SIEMENS, Tomo I, pag. 120

$$I''_k = 6575 \text{ A}$$

Impulso de cortocircuito I_s

$$I_s = \text{raíz}(2) * x * I''_k$$

x = magnitud de cálculo según VDE 0102 pag. 175

$$x' = \frac{R_G}{X''_d} = \frac{0,002968}{0,0424} = 0,07$$

$$X''_d = 0,0424$$

$x = 1,8$ ANEXO 7 (Figura 1.3/23)

$$I_s = \text{raíz cuadr.}(2) * 1,8 * 6575$$

$$I_s = 16737,21 \text{ A}$$

Corrientes de cortocircuito para el transformador de 500 KVA

Los transformadores de 500 KVA se encuentran alimentados por la S/E Mulaló 2 a 13.8 KV con una potencia de cortocircuito de 52 MVA, estos datos fueron proporcionados por ELEPCO S.A.

Impedancia de la S/E

$$Z_Q = \frac{c * U_N^2}{S''_k} \text{ [ohmios]} \text{ ANEXO 7 (Figura 1.11/62a)}$$

$$S''_k$$

$c = 1.1$ Factor según VDE 0102

$U_N =$ Tensión nominal 13.8 KV

$S''_k =$ Potencia inicial de cortocircuito 52 MVA

$$ZQ = \frac{1.1 * 13.8^2 \text{ KV}^2}{52 \text{ MVA}}$$

$$ZQ = 4,028 \text{ [ohmios]}$$

Si consideramos $RQ = 0,1 * XQ$, según VDE 0102, sustituyendo tenemos la siguiente expresión:

$$ZQ = \text{raíz cuadrada} [(RQ^2 + XQ^2)]$$

$$ZQ = \text{raíz cuadrada} [(0,1 * XQ)^2 + XQ^2] = 1,005 * XQ$$

Entonces, se deduce que:

$$XQ = \frac{ZQ}{1,005} = \frac{4,028}{1,005} = 4 \text{ [ohmios]}$$

Luego, reemplazando tenemos:

$$RQ = 0,1 * XQ$$

$$RQ = 0,1 * 4$$

$$RQ = 0,4 \text{ [ohmios]}$$

Ahora:

$$Z_Q = R_Q + X_Q$$

$$Z_Q = (0,4 + j4) \text{ [ohmios]}$$

Impedancia del cable eléctrico al transformador

Datos:

Calibre del conductor 250 MCM

l = distancia del conductor hacia el transformador 0,02 Km

r' = resistencia 0.14 ohmios/Km (TABLA 4.3)

x' = reactancia 0.33 ohmios/Km ANEXO 7 (Figura 1.3/12)

Reemplazando en la fórmula, tenemos:

$$Z_L = l (r' + jx')$$

$$Z_L = 0.02 \text{ Km } (0.14 + j0.33) \text{ ohmios/Km}$$

$$Z_L = (0.0028 + j0.0066) \text{ ohmios}$$

Impedancia total en el lado de alta tensión 13.8 KV

$$Z_a = Z_Q + Z_L$$

$$Z_a = [(0.4 + j4) + (0.0028 + j0.0066)] \text{ ohmios}$$

$$Z_a = (0.4028 + j4.0066) \text{ ohmios}$$

Impedancia en el lado de baja tensión 440 V

$$Z_b = Z_a (U_{bt} / U_{at})^2 \quad \text{ANEXO 7 (Figura 1.11/62a)}$$

$$Z_b = [(0.4028 + j4.0066) \text{ ohmios}] (0.440 \text{ KV} / 13.8 \text{ KV})^2$$

$$Z_b = (0.0004094 + j0.00407) \text{ ohmios}$$

Impedancia del transformador

Resistencia óhmica

$$R_T = \frac{u_r * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \quad [\text{ohmios/fase}]$$

Reactancia inductiva

$$X_T = \frac{u_x * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \quad [\text{ohmios/fase}]$$

Datos:

$$S_{NT} = 0.5 \text{ MVA}$$

$$U_{NT} = 0.44 \text{ KV}$$

$$u_r = 1.43 \% \quad (\text{Dato de placa})$$

$$u_z = 4 \% \quad ^9$$

Entonces:

$$u_x = \text{raíz cuadrada } (u_z^2 - u_r^2)$$

$$u_x = \text{raíz cuadrada } [(4\%)^2 - (1.43\%)^2]$$

$$u_x = 3.73 \%$$

Luego reemplazando, tenemos:

$$R_T = \frac{u_r * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \quad [\text{ohmios/fase}]$$

$$X_T = \frac{u_x * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \quad [\text{ohmios/fase}]$$

⁹ Instalaciones Eléctricas, SIEMENS, Tomo I, pag. 180

$$100\% * SNT$$

$$RT = \frac{1.43\% * 0.44^2 \text{ KV}^2}{100\% * 0.5 \text{ MVA}}$$

$$RT = 0.00553 \text{ ohmios}$$

$$100\% * SNT$$

$$XT = \frac{3.73\% * 0.44^2 \text{ KV}^2}{100\% * 0.5 \text{ MVA}}$$

$$XT = 0.0144 \text{ ohmios}$$

Entonces:

$$ZT = RT + XT$$

$$ZT = (0.00553 + j0.0144) \text{ ohmios}$$

Impedancia total de cortocircuito

$$ZB = ZT + Zb$$

$$ZB = [(0.00553 + j0.0144) + (0.0004094 + j0.00407)] \text{ ohmios}$$

$$ZB = (0.005939 + j 0.01847) \text{ ohmios}$$

Como:

$$Z'B = \text{raíz cuadrada } (RB^2 + XB^2)$$

Entonces:

$$Z'B = \text{raíz cuadrada } [(0.005939)^2 + (0.01847)^2] \text{ ohmios}$$

$$Z'B = 0.0194 \text{ ohmios}$$

Corriente de cortocircuito I''k = F2 (valor eficaz al momento de la falla)

$$I''k = \frac{c * UN}{\text{Raíz cuadrada}(3) * Z''k}$$

$c = 1.1$ Factor según VDE 0102

$U_N = 440 \text{ V}$

$Z'_B = Z'_K = 0.0194 \text{ ohmios}$

Reemplazando, se obtiene:

$$I''_k = \frac{1.1 * 440 \text{ V}}{\text{Raíz cuadrada (3)} * 0.0194 \text{ ohmios}}$$

$$I''_k = 14403.99 \text{ A}$$

Corriente de cortocircuito I_s (valor máximo instantáneo)

$$I_s = x * \text{raíz cuadrada (2)} * I''_k$$

Donde:

$x =$ magnitud de cálculo según VDE 0102

$$x' = \frac{R_B}{X_B} = \frac{0.005939}{0.01847} = 0.32$$

$$X_B = 0.01847$$

Entonces:

$x = 1.4$ ANEXO 7 (fig. 1.3/23)

Reemplazando, se tiene:

$$I_s = 1.4 * \text{raíz cuadrada (2)} * 14403.99 \text{ A}$$

$$I_s = 28518.44 \text{ A}$$

CURVA DEL TRANSFORMADOR DE 500 KVA

Datos:

$$I_n = I = 628 \text{ A}$$

Impedancia: 6 %

Curvas de daño mecánico

El transformador de 500 KVA, según la norma ANSI / IEEE C57.109, se encuentra en la categoría II ANEXO 8

Datos:

$$I = 628 \text{ A}$$

$$\text{Punto de cálculo 1 (P'1)} = I / Z_t = 10466.66 \text{ (a 2 seg.)}$$

$$\text{Punto de cálculo 2 (P'2)} = 0.5 (I / Z_t) = 5233.33 \text{ (a 4 seg.)}$$

Curvas de daño térmico

$$\text{Punto de cálculo 1 (P1)} = 25 * I = 25 * 627.5 = 15700 \text{ Amp. (a 2 seg.)}$$

$$\text{Punto de cálculo 2 (P2)} = 5 * I = 5 * 627.5 = 3140 \text{ Amp. (a 50 seg.)}$$

EJEMPLO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Coordinación de protecciones del motor del compresor UNISAB N.- 1

Datos:

Potencia: 0.2 MVA

Voltaje: 0.796 V (Conexión Y)

FP= 0.91

Punto 1

$$I_n = \frac{\text{VA}}{\text{Raíz cuadr. (3) * V * FP}} = \frac{0.2 \text{ MVA}}{1.73 * 0.796 * 0.91} = 159.40 \text{ A (a 1000 seg.)}$$

Punto 2

$$I \text{ rotor bloqueado} = I_n * 6$$

$$I \text{ rotor bloqueado} = 159.40 \text{ A} * 6$$

$$I \text{ rotor bloqueado} = 956.4 \text{ A}$$

El tiempo de aceleración es de 3 seg. (según potencia del motor)

Punto 3

Según lo detallado en el punto 2, nos corresponde:

$$I \text{ rotor bloqueado} = 956.4 \text{ A (a 0.01 seg.)}$$

Para realizar la coordinación de protecciones, se tomo como referencia el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la empresa “PROVEFRUT” (ANEXO 1); se tomo como ejemplo el transformador T1, el mismo que se encuentra conectado al generador, los mismos que se encuentra con sus respectivas protecciones y alimentando al motor del compresor UNISAB N.- 1.

La coordinación de protecciones del ejemplo expuesto, así como los datos de todos equipos se encuentran en las curvas TIEMPO – CORRIENTE, tanto de la línea alimentada por el transformador (ANEXO 9), como la suministrada por el generador que posee la empresa (ANEXO 10).

Las curvas patrones de los interruptores del VL 400 A y 3VF7 800 A marca SIEMENS, así como la del fusible tipo “K”, se encuentran localizada en el ANEXO 11.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El interruptor VL 400 A del generador actúa a los 0.017 seg. Con una corriente de cortocircuito $I''_k = 6575$ A, y a los 0.012 seg. Con una corriente $I_s = 16737.21$ A; es decir, el generador se encuentre protegido contra posibles cortocircuitos.
- Para que exista una mayor área de protección, se recomienda proteger al transformador de 500 KVA con un fusible TIPO 30 K, estas curvas de coordinación se indican en el ANEXO N.- 12.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 RESULTADOS GENERALES

- En la planta PROVEFRUT S.A. el mayor consumo promedio de energía es el bunker con un promedio de 1699,752 GJ, la segunda fuente de consumo es la energía eléctrica con un promedio de 1535,48 GJ, el diesel, la gasolina y el gas se consumen en menos porcentaje. Estos valores promedios son durante el período Octubre/01 – Mayo/02.
- La electricidad es la fuente de energía que tiene el mayor costo, con un valor promedio de 44854,04 USD seguido por el bunker con 6266,83 USD, mientras que los demás combustibles tiene un valor promedio de 495,712 USD.
- El mayor consumo energético se registró en el mes de Abril/02 con un total de 1593,18 GJ.
- En el mes de Octubre/01 y Noviembre/01 la Planta sufrió una penalización por un bajo factor de potencia que fue de 0.90 y 0.88 respectivamente, la misma que pagó por este concepto a ELEPCO S.A. la cantidad de 851,54 USD y de 1701,03 USD respectivamente.
- Los niveles de caída de tensión de todos los conductores que están instalados desde los seccionadores hasta las maquinarias se encuentran

dentro de los rangos establecidos, puesto que su diferencia de voltaje no es superior al 3,5 % permitido por la Empresa Eléctrica.

- Los motores de los compresores de refrigeración son los equipos que mayor tiempo de funcionamiento tienen en la Planta.
- Los niveles de iluminación en las áreas de proceso, corte y empaque actualmente se encuentran alejados de los niveles requeridos, los cuales traen consigo molestias a los trabajadores.
- El caldero Cleaver Brooks se encuentra en condiciones aceptables de operación.
- La generación de vapor del caldero es de 3030 lb / h.
- Las tuberías de distribución de vapor hacia las líneas se encuentran en buen estado de funcionamiento, no existen fugas.
- El consumo de vapor en las líneas 1, 2 y 3 de proceso son de 1320, 1320 y 250 Lb / h. respectivamente.
- Se realizó el levantamiento del diagrama unifilar eléctrico de la planta, así como el estudio de coordinación de protecciones.

6.2 CONCLUSIONES

6.2.1 CONCLUSIONES GENERALES

- La empresa PROVEFRUT S.A. se encuentra funcionando en condiciones aceptables de operación, se puede elevar la producción y ahorrar energía aprovechando el uso de equipos de alta eficiencia como los que se describieron en el estudio realizado.

- La distribución del sistema eléctrico debe ser mejorado, para evitar sobrecargas en los distintos tableros de distribución existentes.
- El sistema de iluminación que tiene actualmente la planta se encuentra por debajo de los límites que recomiendan, trayendo problemas para los trabajadores de las distintas áreas, los mismos que pueden ocasionar accidentes de trabajo.
- El banco de capacitores instalado cumple con los requisitos necesarios, ya que la planta no ha vuelto a tener penalización por bajo factor de potencia impuesto por la empresa eléctrica.
- El caldero se encuentra trabajando dentro de los límites óptimos de operación, tampoco existen pérdidas o fugas de vapor en el trayecto hacia las líneas de proceso.

6.2.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- La comunicación entre compresores de refrigeración, evitará consumos excesivos de energía en el momento del arranque y por ende un ahorro en la planilla de energía, este resultado se puede observar en la curva actual de potencia de demanda (ANEXO N.- 13).
- Con la instalación del nuevo sistema de iluminación se obtendrá un mayor rendimiento de los trabajadores, así como un ahorro considerable de energía.

6.3 RECOMENDACIONES

6.3.1 RECOMENDACIONES GENERALES

- Nombrar o designar un coordinador eléctrico para que él sea el encargado de realizar el seguimiento de lo descrito en el estudio.
- Realizar un programa de mantenimiento tanto eléctrico como mecánico de los equipos que posee la Planta.
- Capacitar a los trabajadores sobre operación y mantenimiento, para alcanzar una mejor eficiencia de los equipos.
- Controlar el arranque de los motores de mayor consumo de energía, para de esta manera poder nivelar los picos de la curva general de carga.
- Actualizar los diagramas unifilares eléctricos de todos los equipos cuando se realicen ampliaciones o cambios en el sistema eléctrico.
- Revisar en forma continua el tratamiento del agua de alimentación hacia el caldero y a las torres de enfriamiento.

6.3.2 RECOMENDACIONES ESPECIFICAS

- Realizar la compra de equipos portátiles para analizar la eficiencia del caldero en base a los gases de combustión que emana el caldero.
- Controlar que la dureza del agua de alimentación hacia el caldero y el total de sólidos disueltos que se encuentran en el interior no sobrepasen los límites recomendados, caso contrario se incrementará el número de purgas y consecuentemente pérdidas de químicos.
- Instalar un computador principal para monitorear continuamente los parámetros a los cuales se encuentran trabajando los compresores de refrigeración.
- Adoptar el nuevo cambio de luminarias, para de esta manera estar dentro de los límites o luxes que se recomiendan para cada área de trabajo, con esto aumentaremos la eficiencia del trabajador y disminuirémos los posibles accidentes de trabajo.
- Adquirir instrumentos de medida adecuados para cada trabajo específico, como son: termómetros, megger, manómetros, termocuplas; así tendremos una idea mas clara de los valores que tenemos en el momento de un proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag, (1986), Fundamentos de Termodinámica, Decimasegunda edición, México.
- Marks, (1995), Manual del ingeniero mecánico, Novena edición, México.
- R.L.Lawrie (1987), Biblioteca práctica de motores eléctricos, Primera edición.
- Chapa Carreon Jorge, Manual de Instalaciones de alumbrado y fotometría.
- Ministerio de Energía y Minas, Programa de ahorro de energía (2000), Eficiencia energética electricidad, Ecuador.
- Programa de capacitación en gerencia de la energía en la industria, Sistemas de calderos.
- Manual de instrucciones UNISAB II Control, Sistema computarizado para compresores frigoríficos, YORK Refrigeración.
- Manual de operación, servicio y número de partes del caldero Cleaver Brooks.
- Empresa eléctrica Ambato S.A. Regional centro Norte (1990), Instalaciones eléctricas interiores.
- Catálogo de la Siemens (1990), Motores eléctricos.
- CABLEC, Catálogo de conductores eléctricos.
- Catálogo de productos Spirax Sarco.
- Manual de baja tensión, SIEMENS
- Instalaciones eléctricas, SIEMENS