

**ANÁLISIS DE GESTIÓN INTEGRAL DE ENERGÉTICOS (GIE) PARA EL AHORRO
DE ENERGÍA EN PLANTA DE PRODUCCIÓN**

JUAN DAVID COLORADO RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIAS
MEDELLÍN
2013**

**ANÁLISIS DE GESTIÓN INTEGRAL DE ENERGÉTICOS (GIE) PARA EL AHORRO
DE ENERGÍA EN PLANTA DE PRODUCCIÓN**

JUAN DAVID COLORADO RODRIGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

Eduard Figueroa Carrillo IE, IEO, Esp.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIAS
MEDELLÍN
2013**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 15 de Mayo de 2013

DEDICATORIA

Le doy Gracias Dios por todas las bendiciones otorgadas, por ser mi guía en los momentos de dificultad y por brindarme la sabiduría y fortaleza para alcanzar mis metas. A mi Padre por el impulso inicial en salir adelante y en especial a mi Madre que siempre me apoyo en mis decisiones, que me acompaño en este largo camino desde el inicio hasta el final, a mi hermano por el cariño, esfuerzo y apoyo incondicional, y a esa mujer especial que llevo en mi corazón que me ayudo con su paciencia y soporte en ese arduo camino académico.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Eduard Figueroa Carrillo, por su atención, buena disposición y colaboración en el conocimiento y buen enfoque del proyecto.

Carlos Arturo Herrera Tafur, por sus aportes y conocimientos que fueron complementarios y de gran utilidad en los desarrollos del proyecto.

Andrés Felipe Gómez, por sus aportes en el desarrollo de la tesis.

Jhon Jaime Correa, Jaime Leon Vallejo, José Gabriel Bravo, por la entrega de la información industrial que hicieron posible este proyecto.

Y a todos los que contribuyeron de igual forma en esta ejecución.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE GRAFICAS	9
RESUMEN	10
INTRODUCCION	11
CAPÍTULO 1: Descripciones Generales	
1.1. Descripción Puntual del Proceso.....	12
1.2. Descripción del Sistema Eléctrico de Inyección y Cuerpos Huecos.....	14
1.3. Descripción de La Maquinaria Industrial de Producción.....	16
1.3.1. Descripción de Equipos Asociados.....	18
1.4. Descripción del Sistema de Enfriamiento.....	19
1.5. Descripción Del Sistema De Aire Comprimido.....	21
CAPÍTULO 2: Análisis de Variables de Interés, Valores Globales	
2.1. Análisis Energético Global.....	23
2.2. Análisis de Transformadores.....	26
2.3. Factor de Potencia en Transformadores.....	29
2.4. Análisis Global de Iluminación.....	31
2.5. Análisis de Motores.....	38
2.6. Análisis de Aislamientos Térmicos.....	41
CAPITULO 3: Análisis de Gestión Energética / norma ISO 50001	
3.1. Programa Gestión Energética.....	43
3.1.1. Sistema de información energética.....	43
3.1.2. Organización y Mecanismos de Comunicación.....	43
3.1.3. Política energética.....	44
3.1.4. Niveles de la Gestión Energética.....	44
3.1.5. Política de Inversión.....	46
3.2. Gestión del Uso de la Energía	
3.2.1. Monitoreo.....	47
3.2.2. Energía Primaria.....	47
3.2.3. Uso de los Análisis de Regresión.....	47
3.2.4. Técnica “CUSUM” para determinación de ahorros acumulados.....	49

3.2.5. Centros de Costo Energético.....	50
3.3. Aplicación del Programa de Gestión Energética a FORMACOL S.A	
3.3.1. Centro de Costos Energéticos.....	50
3.3.2. Análisis Energético.....	55
CAPITULO 4: Resultados y Recomendaciones	
4.1. Recomendación del sistema de Enfriamiento.....	57
4.2. Recomendación del sistema de Aire Comprimido.....	59
4.3. Recomendación del Sistema Eléctrico.....	63
4.4. Recomendación de los Motores Eléctricos.....	63
4.5. Recomendación del sistema de Iluminación.....	64
4.6. Recomendación de Gestión Energética.....	64
5. CONCLUSIONES.....	66
6. BIBLIOGRAFÍA.....	67
7. ANEXOS.....	68
7.1 Datos y cálculos realizados	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Consumo de Energía Activa Secciones con Tele-medida.....	24
Tabla 2. Consumo de Energía Activa Secciones sin Tele-medida.....	24
Tabla 3. Balance de Consumo de Energía Activa.....	25
Tabla 4. Capacidad Disponible de Transformación.....	26
Tabla 5. Rendimiento en transformadores.....	27
Tabla 6. Efectos de Rendimiento y Perdidas por el Desplazamiento de cargas.....	28
Tabla 7. Factor de Potencia Global en los Transformadores.....	30
Tabla 8. Mejora de Factor de Potencia en Transformadores.....	30
Tabla 9. Inventario de Luminaria en Planta de Producción.....	31
Tabla 10. Sustitución y Recomendaciones en la Iluminaria de la Planta.....	34
Tabla 11. Motores y Datos Nominales.....	39
Tabla 12. Factor de Carga y Eficiencia Actual de los Motores Evaluados.....	39
Tabla 13. Motores de Alta Eficiencia y Evaluación Económica.....	40
Tabla 14. Aislamiento Térmico.....	41
Tabla 15. Análisis Energético por Sección.....	56
Tabla 16. Descarga de Aire Atraves de un Orificio (diámetro en mm).....	61

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Figura 1.1 Zonas de Procesos.....	13
Figura 1.2 Diagrama Unifilar Simplificado.....	15
Figura 1.3 Sistema de Distribución de Enfriamiento.....	20
Figura 1.4 Sistema De Aire Comprimido “Red Central”.....	22
Figura 2.1 Curva de Demanda – 220 V.....	23
Figura 3.1 Determinación del Consumo de Energía Promedio.....	49
Figura 3.2 Determinación de la Línea Objetivo.....	49
Figura 3.3 Gráficos “Cusum” y de Ahorros Acumulados.....	50
Figura 3.4 Diagrama de Procesos y Energéticos Consumido.....	52
Figura 3.5 Consumo Energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Inyección (Ene-Dic 2012).....	53
Figura 3.6 Consumo energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Cuerpos Huecos (Ene-Dic 2012).....	54
Figura 3.7 Consumo energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Impresión (Ene-Dic 2012).....	55
Figura 4.1 Esquema de División de Tanques (Pool).....	58

RESUMEN

El proyecto de grado basa su totalidad en el estudio, análisis y entrega de una propuesta de ahorro energético en la planta de producción de la compañía S.A., este estudio es puesto a libre disposición de la compañía.

El análisis y estudio, es enfocado en máquinas industriales que actualmente operan pero que no fueron diseñadas, desde su fabricación, con el concepto de ahorro energético.

Son objeto de estudio cuatro (4) máquinas, seleccionadas en común de acuerdo con el personal técnico de FORMACOL S.A. La posterior aplicación, implementación y expansión de la propuesta de ahorro, es una decisión interna de la compañía.

Se evaluaron propuestas y se plantearon recomendaciones, las cuales fueron analizadas previamente para la implementación de posibles periféricos electrónicos que trabajen en conjunto con la maquinaria actual, y equipos que aporten a estos ahorros energéticos.

PALABRAS CLAVES: (Ahorro de Energía, Eficiencia de consumos, Administración integral de energía, Planta de producción industrial, Maquinaria industrial).

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial y el crecimiento industrial generado para suplir las necesidades y mejorar la calidad de vida de la sociedad contemporánea, ha generado un consumo desmesurado de los recursos energéticos y un deterioro paulatino del medio ambiente, lo cual reduce el bienestar y el nivel de vida.

Si bien es cierto que podemos consumir energía para producir algo, también es verdad que se debe hacer uso eficiente de la misma, para conservar los recursos no renovables y reducir el impacto ambiental.

De allí la importancia de emprender programas de análisis y diagnóstico energético que le permita al industrial conocer su proceso, de qué manera y con qué eficiencia se consume la energía en su planta (IEMMA; UPB, 2010).

La compañía FORMACOL S.A es una compañía especialista en la transformación de productos plásticos en la ciudad de Medellín (Colombia), con gran trayectoria y experiencia en 45 años de actividad comercial.

Entre sus proyectos resalta la realización de un diagnóstico Energético en tres sectores productivos (Inyección, Cuerpos-Huecos, Impresión), en donde es objeto de este trabajo evaluar el uso eficiente de la Energía.

Con el fin de determinar ahorros de Energía Eléctrica en los sectores productivos e implementar las medidas y sugerencias que son recomendadas para lograr usar la energía de forma eficiente sin generar una reducción de la producción y sin crear un impacto negativo al medio ambiente.

CAPITULO 1

1.1. Descripción Del Proceso

La compañía Formacol S.A. es una empresa productora de tubos colapsibles, tapas colapsibles, tapas flip top, envases de rollón, esferas entre otros.

La transformación se realiza a través de la fundición de materiales plásticos como polipropilenos, polietilenos de alta y de baja densidad. Cada proceso se encuentra asociado a un sector respectivo, por ejemplo el proceso de inyección se encuentra ubicado en el sector de inyección. A continuación se enuncian cada uno de los procesos productivos.

- Inyección.
- Coextrusión.
- Transformación de cuerpos huecos.
- Impresión.
- Serigrafía.
- Procesos Complementarios.
- Empaque.
- Despacho.

Los procesos que son objeto de estudio en el presente trabajo son: Inyección, Impresión y Coextrusión.

En la Figura 1.1 se ilustra un esquema de las diferentes zonas del proceso y la división por líneas de producción.

De la figura 1.1 se observa que los diferentes procesos productivos a pesar de estar enmarcados dentro de un mismo recuadro no necesariamente presentan las mismas operaciones ni tienen lugar los mismos equipos.

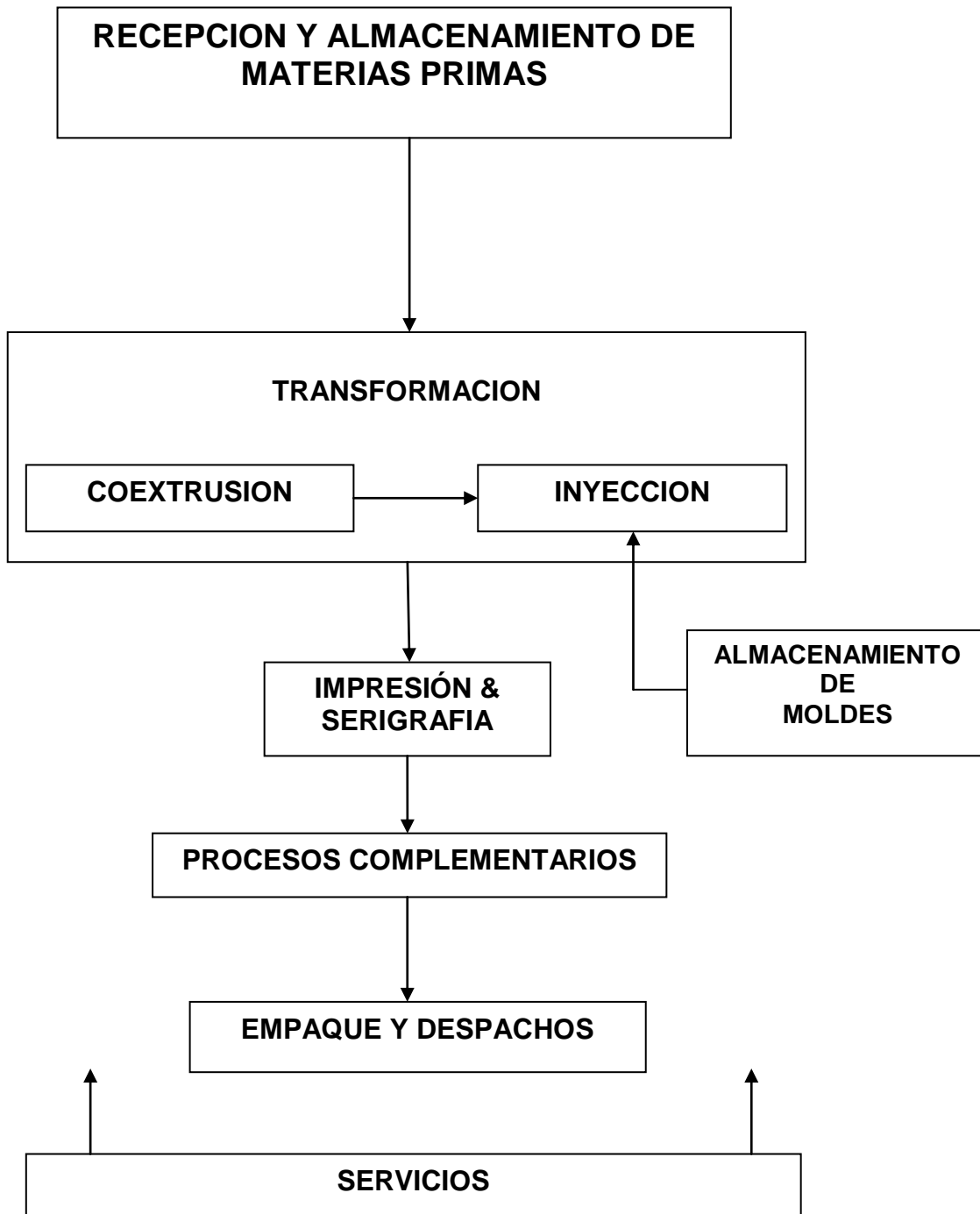


Figura 1.1 Zonas De Procesos

En términos generales se puede decir que la materia prima, que consiste principalmente en diversos polímeros como “polietilenos, polipropilenos, etc.”, es utilizada por los procesos de Inyección y Coextrusión. En estos sectores los polímeros se someten a un proceso térmico, donde se obtiene una masa fluida que se pasa a un moldeo / bajo presión y que luego se enfría, obteniendo productos con geometrías definidas, que son constituidos como un producto final (Ppi, 2012).

La zona de Almacenamiento de Moldes tiene como función principal, almacenar y proveer de moldes a las maquinas inyectoras, que corresponden a los diferentes productos base y líneas que se manejan dentro de la compañía.

La zona de Servicios está constituida por los demás sistemas de la compañía.

1.2. Descripción Del Sistema Eléctrico De Inyección Y Cuerpos Huecos

El sistema eléctrico de Formacol S.A se conforma de (5) cinco subestaciones conectadas con el sistema de distribución de energía de Empresas Publicas de Medellín (EPM). A continuación se enuncian cada una de las subestaciones con su respectiva capacidad nominal:

- Inyección (300 kVA).
- Cuerpos Huecos (315 kVA).
- Impresión (300 kVA).
- Taller (120 kVA).
- Serigrafía (75 kVA).

Para la ejecución del proyecto, se evaluarán la subestación de Inyección y la subestación de Cuerpos Huecos. Estas subestaciones alimentan los equipos de la siguiente forma:

Las inyectoras identificadas con la nomenclatura 1-4, 1-5, 1-6, son alimentadas desde la subestación de Inyección y la Coextrusora de referencia Bonmac corresponde a la subestación de Cuerpos Huecos.

Cada una de las subestaciones es alimentada por EPM, a un nivel de tensión de 13,2 kV, en donde cada transformador (con relación de transformación 13,2/0,22 kV) alimenta desde su secundario las cargas eléctricas a un nivel de tensión de 220 V.

En la Figura 1.2 se ilustra el diagrama unifilar simplificado de la planta de producción, en donde se describe la conexión desde la red principal de E.P.M, hasta el sector productivo.

Es de aclarar que en este diagrama unifilar simplificado no está contemplada toda la distribución energética de la compañía, solo se especifican los dos procesos que son objeto de estudio.

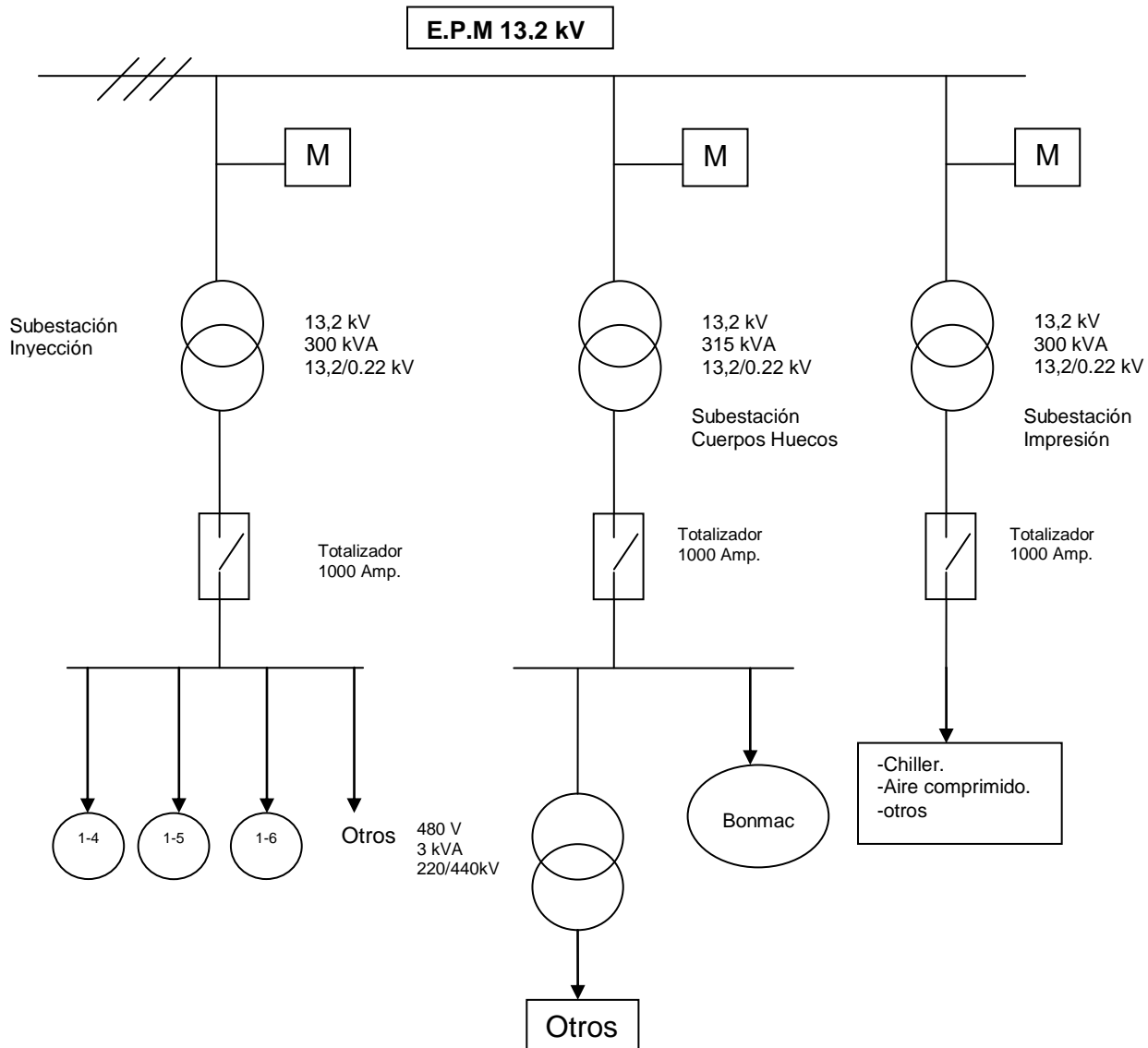


Figura 1.2 Diagrama Unifilar Simplificado

Para los registros del consumo de energía, la empresa tiene instalado, por medio de transformadores de medida en media tensión (13,2 kV), tres contadores de energía electrónico con el que realiza el proceso de tele-medida. Esta medición solo está disponible para tres de las cinco subestaciones instaladas en FORMACOL S.A (Inyección, Cuerpos Huecos “Soplado”, Impresión), las otras dos estaciones son de registro visual asistido.

En la subestación de Cuerpos Huecos se encuentra un transformador seco adicional de 3 kVA, seco, que eleva el potencial de 220 V a 440 V.

1.3. Descripción De La Maquinaria Industrial De Producción

La compañía FORMACOL S.A posee dentro de su planta de producción un conjunto de equipos que hace referencia a las máquinas de moldeo por inyección e inyección - extrusión (Coextrusión), con sus respectivos sistemas de enfriamiento (Moliner, 2011).

El personal técnico de Formacol S.A seleccionó las máquinas industriales, objeto de análisis, por su alto índice de productividad, por ser máquinas que han acompañado a la compañía durante muchos años y por ser equipos de tecnología obsoleta que demanda un alto consumo de energía.

Cada una de las inyectoras se compone de un sistema de bombeo y un tanque de aceite hidráulico, con las mismas características técnicas entre inyectoras.

El sistema de bombeo está compuesto por dos bombas hidráulicas, una de ellas a 140 bares máximos y a 100 *Lts/min*, la otra, a un máximo de presión de 140 bares y 16 *Lts/min*. Estas bombas generan la presión al sistema neumático y están unidas al motor principal mediante un acople mecánico.

Con respecto al tanque de aceite hidráulico, este presenta un volumen de 580 litros y, el aceite usado, posee una viscosidad de 150 VG68 (MOBILE DTE 26).

Las máquinas productivas son las siguientes:

- Máquina 1-4 Kuasy 400/160 posee un volumen de inyección de 400 grm y una presión de inyección de 160 ton.

Esta inyectora actualmente opera con una línea de producción base de tapa Flip-top de diámetro 40. Tiene establecido un índice productivo de de 6900 unidades en 8 horas, trabajando en condiciones normales y con una apreciación de desfase de (+/-) 1000 unidades.

Las características técnicas de su motor principal son:

Tipo: Motor de inducción Jaula de Ardilla
No Máquina: 27378
Año de construcción: 1974
Peso: 5000 kg
Tensión: 220 V
Frecuencia: 60 Hertz
Potencia Nominal: 33 kW
Corriente Nominal: 100 Amp.

- Máquina 1-5 Kuasy 630/160, esta inyectora actualmente opera para una línea de producción base de tapa Flip-top de diámetro 50. Tiene establecido un índice productivo de 5500 unidades en 8 horas, trabajando en condiciones normales y una apreciación de desfase de (+/-) 1000 unidades.

Las características técnicas de su motor principal son:

Tipo: Motor de inducción Jaula de Ardilla
No Máquina: 133620910521
Año de construcción: 1982
Peso: 6050 kg
Tensión: 220 V
Frecuencia: 60 Hertz
Potencia Nominal: 48 kW
Corriente Nominal: 14 Amp.

- Máquina 1-6 Kuasy 320/160, esta inyectora actualmente opera para una línea de producción base de tapa Flip-top de diámetro 35. Tiene establecido un índice productivo de 8000 unidades en 8 horas, trabajando en condiciones normales. La apreciación de desfase es de (+/-)1000 unidades.

Las características técnicas de su motor principal son:

Tipo: Motor de inducción Jaula de Ardilla
No Máquina: 25753
Año de construcción:
Peso: 5000 kg
Tensión: 220 V
Frecuencia: 60 Hertz
Potencia Nominal: 39 kW
Corriente Nominal: 120 Amp.

- Máquina Coextrusora Bonmac, posee los siguientes datos técnicos en su motor principal.

Modelo: EDC-08-02
 Manufacturado:06-2006
 Tensión: 220 V
 Serie: No-CB-036
 Potencia Nominal: 66 kW

1.3.1. Descripción De Equipos Asociados

Para cada sector evaluado los equipos asociados hacen referencia a los chiller de enfriamiento, secadores y compresores, pertenecientes a cada sector de análisis.

El sistema de enfriamiento de inyección cuenta con un total de 4 chiller, cuyas características técnicas son las siguientes:

- 3 chiller de 20 kW trifásico con una corriente nominal de 88,5 Amperios y a una tensión de 220 V.
- 1 chiller de 10 kW trifásico con una corriente nominal de 44 Amperios y a una tensión de 220 V.

El sistema de aire comprimido consta de 5 compresores y 2 secadores. Las características técnicas son las siguientes:

- Compresor 1: tensión nominal de 220 V y corriente nominal de 7,4 Amperios y Potencia nominal de 1,20 kW.
- Compresor 2: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 40,8 kW.
- Compresor 3: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 30 kW.
- Compresor 4: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 15 kW.
- Compresor 5: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 37 kW.
- Secador 1: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 15 kW.
- Secador 2: tensión nominal de 220 V y Potencia nominal de 15 kW.

1.4. Sistema De Enfriamiento

Las máquinas inyectoras (1-4, 1-5, 1-6) están conectadas a un sistema de enfriamiento común para todo el sector de inyección. Este sistema consta de una piscina (pool), desde la cual se realizan las conexiones de suministro y retorno de

las aguas de enfriamiento, realizando además un recorrido cerrado, desde las máquinas hacia la piscina y de la piscina a los chiller (UPB *et al.*, 1998).

La máquina Coextrusora Bonmac se conecta a una piscina (pool) independiente a la anterior. Este pool pertenece al sector de Cuerpos Huecos “Soplado” y el principio de funcionamiento es similar al pool de Inyección.

La piscina (pool) almacena el agua proveniente de dos zonas, la zona de chillers, y la zona máquinas inyectoras.

Es importante aclarar que el sector de inyección posee más de tres máquinas, sin embargo para los análisis sólo se evaluarán las inyectoras referenciadas.

El pool está equipado con un sistema electrónico que monitorea la temperatura del agua, activando el control según la temperatura censada y partiendo de una temperatura referencia de 17 °C. La temperatura del agua puede ser ajustada por un usuario.

El control electrónico realiza diversas tareas que están ligadas a las variaciones de temperatura. La primera tarea es mantener refrigerado el sector de inyección. Otra de las tareas del control electrónico es transportar el agua proveniente de las máquinas inyectoras hacia el pool (el cual presenta una temperatura aproximada de 20 °C), el agua regresa con un exceso de temperatura y se mezcla con el agua que previamente contiene el pool, la temperatura global del pool se eleva y el control enciende las bombas y envían el agua hacia los chiller para ser refrigerada.

Luego de ser refrigerada, los chillers retornan el agua nuevamente hacia el pool a una temperatura aproximada 14 °C. Este proceso se repite tantas veces hasta que la temperatura global del pool alcance los 17 °C, para ser circulada nuevamente hacia el sector de inyección (UPB *et al.*, 1998).

En la Figura 1.3 se ilustra la distribución y conexión de la piscina a las inyectoras. Esta distribución es una aproximación de la conexión de las máquinas con el pool, puesto que cada moto-bomba que circula el agua está asociada a un conjunto de máquinas y no a cada máquina independiente.

Este diagrama sólo presenta la funcionalidad y forma de realizar el ciclo de enfriamiento.

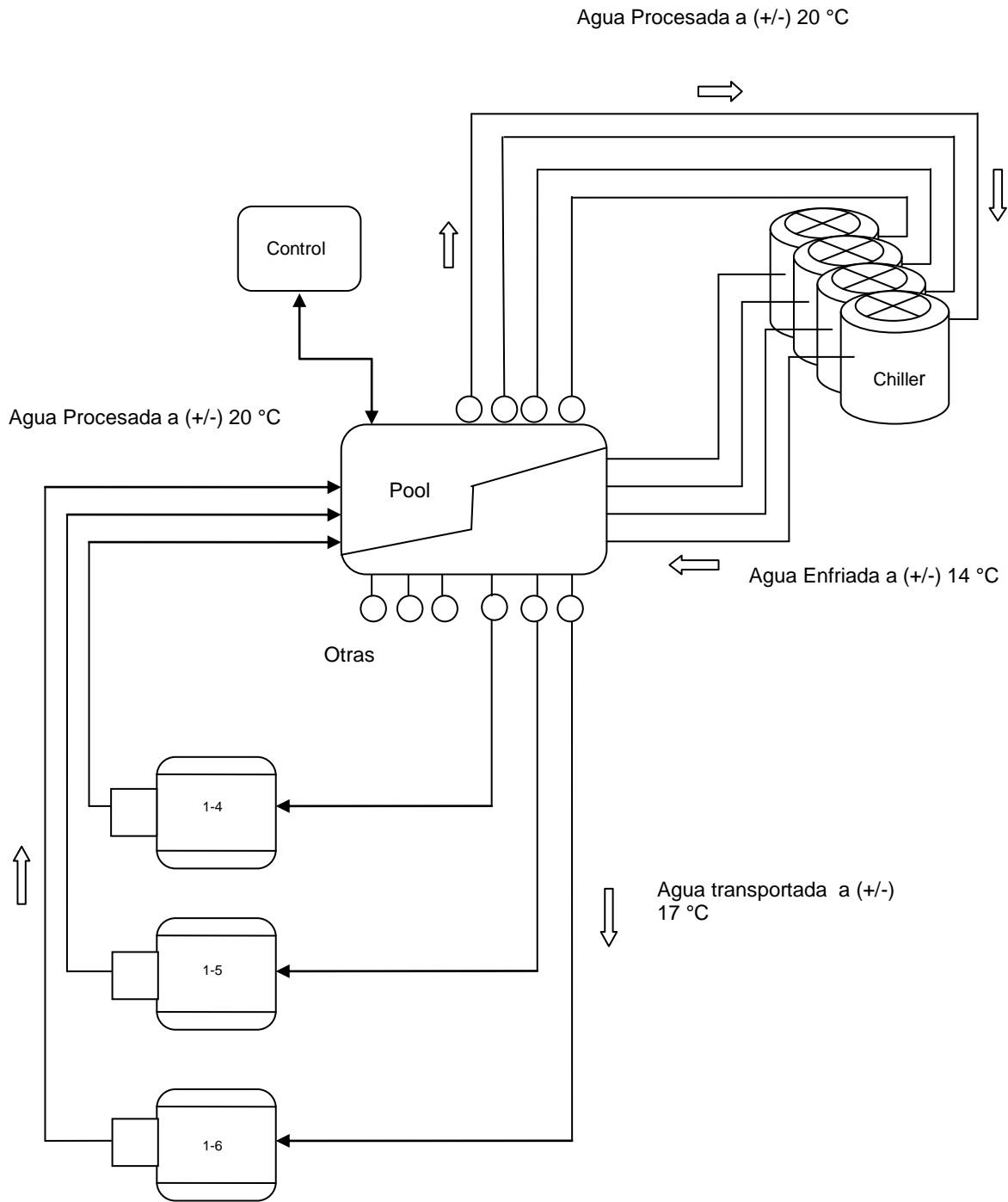


Figura 1.3 Sistema De Distribución De Enfriamiento

1.5. Descripción Del Sistema De Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido está diseñado para el abastecimiento de presión de aire para toda la compañía. A este sistema se encuentran interconectados todos los sectores productivos mencionados anteriormente.

El sistema de aire produce un total de $18 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire para una presión de 8 bares. Todos los equipos asociados a FORMACOL S.A trabajan a una presión de 6,5 a 7,0 bares.

Estos $18 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen son generados por un conjunto de cinco (5) compresores conectados a la red y dos (2) secadores que están distribuidos de la siguiente forma:

- El compresor 1, referencia T.20 produce $2 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire.
- El compresor 2, referencia C.20 produce $2 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire.
- El compresor 3, referencia C.40 produce $4 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire.
- El compresor 4, referencia GA30 produce $4 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire.
- El compresor 5, referencia GA37 produce $6 \text{ mts}^3/\text{min}$ de volumen de aire.
- Dos secadores conectados en paralelo de $2 \text{ mts}^3/\text{min}$ cada uno.

En la Figura 1.4 se presenta un esquema del sistema de aire comprimido y la distribución en la compañía, esta distribución es una simplificación de la red central, la conexión con los equipos y máquinas de producción son extensiones no señaladas que se conectan directamente de la red central (UPB *et al.*, 1998).

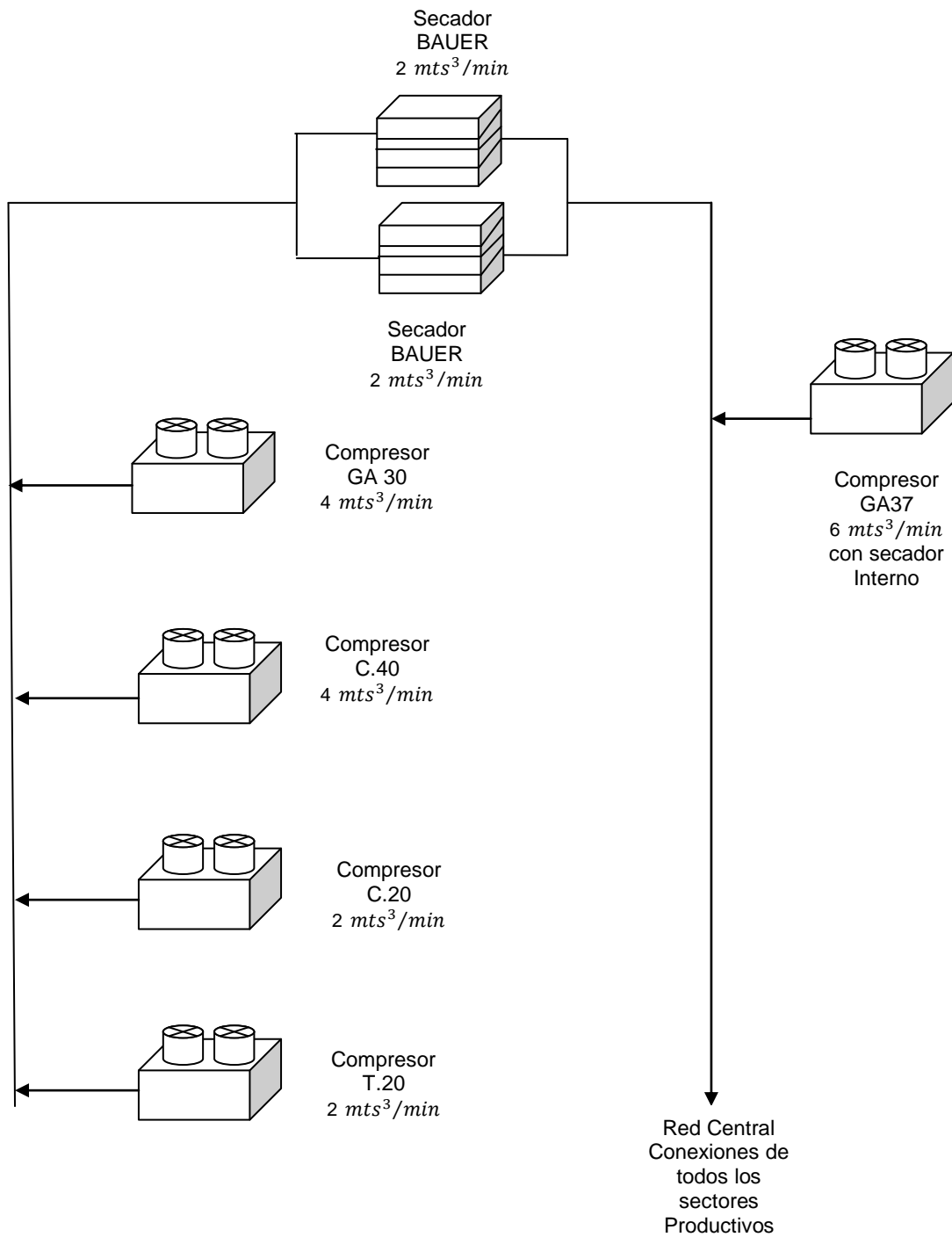


Figura 1.4 Sistema De Aire Comprimido "Red Central"

CAPITULO 2

2.1. Análisis Energético Global

En la Figura 2.1 se ilustra la evolución del consumo de energía activa de la Empresa entre Enero del 2011 y Octubre del 2012, registrada a un nivel de tensión de 220 V y obtenidas mediante la medición remota de los contadores de energía dispuestos por las Empresas Publicas de Medellín (EPM). La información obtenida corresponde a las siguientes subestaciones: Transformadores de Inyección de 300 kVA, de Cuerpos Huecos "Soplado" de 315 kVA y de Impresión de 300 kVA.

Se debe recalcar, que además de estas tres subestaciones, la empresa posee dos circuitos adicionales que poseen baja carga instalada, y que son inspeccionados visualmente (no se tiene disponible el registro histórico de sus consumos).

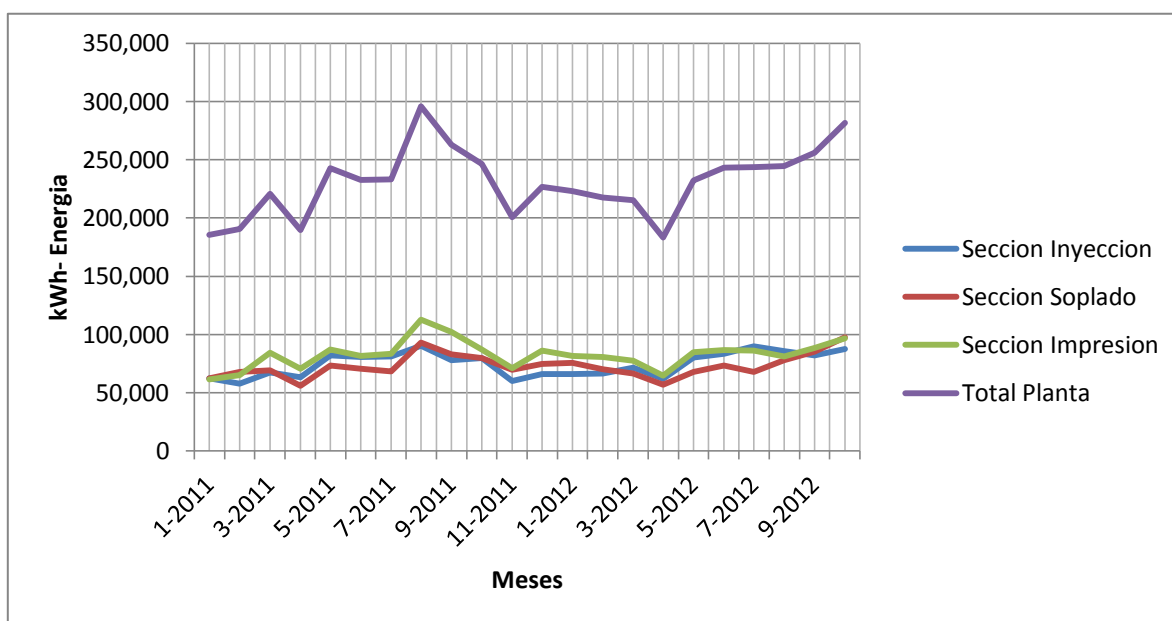


Figura 2.1 Curva de Demanda – 220 V

Se observa en la Figura 2.1 que históricamente la sección de Impresión es la que más consumo presenta, seguida en primera instancia por inyección y después por Soplado.

Se evidencia la tendencia a que el consumo total disminuye a comienzos de año, aproximadamente hasta los 189.000 kWh, y que a finales de año se incrementa apreciablemente hasta los 296.000 kWh.

En la Tabla 1 se resumen los valores promedio, máximo y mínimo registrados durante los meses de medición.

Tabla 1. Consumo de Energía Activa al mes en Secciones con Tele-medida

Circuito	ENERGÍA ACTIVA (kWh/mes)		
	Máximo	Promedio	Mínimo
Inyección	90.054	74.621	57.737
Soplado	97.504	73.004	55.873
Impresión	112.722	82.736	61.448
Total	295.971	230.361	183.355

De la Tabla 1 se concluye que la energía activa promedio total es de 230.361 kWh/mes bajo condiciones normales de operación, es decir, con la mayoría de los equipos en operación.

La Energía activa máxima registrada fue en la sección de impresión (Agosto del 2011), y fue de 112.722 kWh, mientras que la energía activa mínima registrada en la sección de soplado (abril del 2011), fue de 55.873 kWh.

En la Tabla 2 se presentan los valores de consumo de energía de las secciones Serigrafía y Taller, de las cuales no se contó con un registro histórico. Los valores presentados, corresponden a los consumos promedios de Agosto a Octubre del 2012.

Tabla 2. Consumo de Energía Activa Secciones sin Tele-medida

Circuito	Consumo Promedio Energía Activa (kWh/mes)
Serigrafía	10.507
Taller	35.060

De la Tabla 2 se observa que la sección de Taller posee un mayor consumo, dado que este circuito alimenta los circuitos de elaboración, mantenimiento y restauración de los moldes de la empresa FORMACOL S.A.

En la sección de Serigrafía el consumo corresponde, aproximadamente, a una tercera parte del consumo del circuito de Taller, pues esta sección sólo alimenta los circuitos de las oficinas de serigrafía y las maquinas de producción correspondientes a este proceso.

En la Tabla 3 se presenta el Balance Global de Consumo de Energía Activa de la Empresa, obtenido con base en los resultados representados en las Tablas 1 y 2.

Tabla 3. Balance Global de Consumo de Energía Activa

Circuito	Secciones	Consumo Promedio (kWh/mes)	Porcentaje (%)
Inyección	Inyección Mezcladores Sistemas-UPS Cafetín Mantenimiento Oficinas principales	74.621	27,0%
Soplado	Cuerpos Huecos Coextrusión Rectificación de Esferas Compresor	73.004	26,5%
Impresión	Impresión Offset Impresión UV Chillers-terrazza Compresores Multipropósitos	82.736	30,0%
Serigrafía	Serigrafía Oficinas serigrafía	10.507	3,8%
Taller	Taller, tornos, cnc	35.060	12,7%
Total		275.928	100%

De la Tabla 3 se concluye que el consumo medio total de energía de la Empresa es de (275.928 kWh/mes), el circuito que más energía demanda es Impresión con un valor de 82.736 kWh/mes (30 % de la planta), este alimenta los equipos encargados del sistema de enfriamiento de agua y compresores que generan una gran demanda de potencia.

Otro de los circuitos de alto consumo es el de Inyección, con una participación del 27 % del global y que corresponde a 74.621 kWh/mes.

Resulta revelador que los consumos de taller y serigrafía representan un consumo superior al 15 % del total de la empresa. Estas dos cargas, al pertenecer al mercado Regulado, se sugieren trasladarse a otro circuito que pertenezca al sistema de energía No Regulado.

2.2. Análisis De Transformadores

Para el caso de un transformador eléctrico el factor de carga ideal se calcula con base a la expresión

$$FC \text{ ideal} = \sqrt{(P_o / P_{cc})}, \quad (1)$$

donde P_o representa las pérdidas en vacío para cada transformador, y P_{cc} las pérdidas en el cobre a plena carga. Estos datos son constantes y son suministrados por los fabricantes de transformadores.

La disponibilidad de transformación se calcula buscando que el transformador opere al máximo rendimiento posible, sin embargo, en la práctica, es complejo obtenerlo, por lo que se presentan dos valores de capacidad disponible. El primer valor es determinado con base en un factor de carga de 0,75 (cargabilidad del transformador al 75 %). El segundo valor es determinado con base en el factor de carga ideal expresado en la ecuación (1).

Aunque con el primer criterio se sacrifica un poco el rendimiento óptimo del transformador, resulta en la mayoría de los casos más atractivo desde el punto de vista económico, debido a que con el segundo criterio, el transformador queda muy sobredimensionado, con lo cual las inversiones en transformación resultan ser elevadas (UPB *et al.*, 1998).

La suma de la capacidad disponible y la potencia máxima del transformador (kVA máximo) no debe superar la potencia nominal del mismo. En caso contrario, la disponibilidad se calcula como la diferencia entre la potencia nominal del transformador y la potencia máxima registrada en él (kVA nominal - kVA máximo).

Tabla 4. Capacidad Disponible de Transformación

Equipo	Potencia [kVA]			Factor de carga			Capacidad disponible [kVA]	
	Nominal	Promedio	Máxima	Promedio	Máximo	Ideal	Ideal	Práctica
Transformador Inyección	300	107,2692	177,273	0,3575	0,59091	0,4562	29,605	122,727
Transformador Soplado	315	102,8927	204,271	0,3266	0,6484	0,4562	40,825	110,729
Transformador Impresión	300	119,7845	223,32	0,3992	0,7444	0,4562	17,090	76,68
Total Potencia	915	329,9464	604,744				87,521	310,136

De la Tabla 4 se concluye que todos los transformadores poseen capacidad de transformación para operar a un factor de carga del 75 %, y en ningún momento la disponibilidad de los transformadores se ve restringida.

En la Tabla 5 se presenta el rendimiento de los transformadores de la planta, calculado a partir del valor de potencia aparente nominal, la potencia activa promedio, el factor de potencia promedio, el factor de carga promedio, las pérdidas en vacío (P_o) y las pérdidas en el cobre a plena carga (P_{cc}).

Tabla 5. Rendimiento en Transformadores

Equipo	S. Nominal	P	F. P.	F. C.	P _o	P _{cc}	Rendimiento	Pérdidas
	[kVA]	[kW]	Promedio	Promedio	[kW]	[kW]	[%]	[kW]
Transformador Inyección	300,00	102,02	0,95	0,34	0,77	3,68	98,06	1,19
Transformador Soplado	315,00	100,37	0,98	0,32	0,77	3,68	98,11	1,14
Transformador Impresión	300,00	113,09	0,94	0,38	0,77	3,68	98,13	1,29
Total								3,62

De la Tabla 5 se tiene que las pérdidas actuales por transformación son de 3,62 kW, equivalentes al 1,2 % de la potencia total demandada por la compañía.

Teniendo en cuenta la instalación pertenece al mercado No Regulado, el costo de la energía activa durante el estudio es en promedio de 306,17 \$/kWh. Así, el costo promedio de las pérdidas debidas a la transformación es de 9,6 M\$/año.

Las cargas de los transformadores de Serigrafía y Taller, pertenecientes al mercado Regulado, pueden trasladarse a las subestaciones pertenecientes al mercado No regulado, logrando unos mejores costos por concepto de energía, puesto que corresponden al 15 % del total del consumo de energía de la planta.

Para los transformadores sin tele-medida, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Debido a que sólo se disponía de registros visuales de energía activa en las dos subestaciones sin tele-medida, se supuso, para efectos de cálculo, que dichas instalaciones poseen un factor de potencia igual a la unidad, lo cual no afecta la evaluación realizada.
- Las subestaciones Serigrafía y Taller, al estar inscritas al mercado regulado, tienen sus cargos establecidos y regulados según las resoluciones enmarcadas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. La tarifa estipulada para el periodo de consumo fue de 343,19 \$/kWh.

- Para las subestaciones Inyección, Soplado, Impresión, inscritas al mercado No Regulado, el precio final de la energía es en promedio de 306,17 \$/kWh, teniendo presente que este precio final constituye una suma de ítems pertenecientes a una fórmula tarifaria establecida por la CREG.

En la Tabla 6 se presentan algunas alternativas para el desplazamiento de las cargas, desde las S/E Serigrafía y Taller, con sus respectivos efectos en el rendimiento y pérdidas por transformación.

Tabla 6. Efectos de rendimiento y pérdidas por el desplazamiento de cargas

Alternativa	Rendimiento (%)			Perdidas (kW)			
	TRF Inyección	TRF Soplado	TRF Impresión	TRF Inyección	TRF Soplado	TRF Impresión	Total
1. Adición de la S/E de Serigrafía como nueva carga a la S/E Inyección (14,59 kW). 2. Adición de la S/E de Taller como nueva carga a la S/E Soplado (48,69 kW).	98,89	98,95	98,88	1,37	1,62	1,35	4,34
3. Adición de la S/E de Serigrafía como nueva carga a la S/E Impresión (14,59 kW). 4. Adición de la S/E de Taller como nueva carga a la S/E Soplado (48,69 kW).	98,86	98,95	98,89	1,23	1,62	1,50	4,35
5. Adición de la S/E de Serigrafía como nueva carga a la S/E inyección (14,59 kW). 6. Adición de la S/E de Taller como nueva carga a la S/E Impresión (48,69 kW).	98,89	98,89	98,87	1,37	1,16	1,92	4,45

De la Tabla 6 se concluye:

- La implementación de la alternativa 1 y 2 es la más atractiva, puesto que las pérdidas generadas en los transformadores de potencia son las menores (4,34 kW).

Con la implementación de esta alternativa, las subestaciones trabajarían con unos rendimientos muy similares y las probabilidades de presentar calentamientos disminuyen.

- La alternativa 3 y 4 produce unas pérdidas en los transformadores de potencia muy similar al anterior (1 y 2) con 4,35 kW, pero tendríamos mayor pérdida en el transformador de impresión con relación a la alternativa anterior (1 y 2), puesto que esta subestación registra mayor cargabilidad.
- La alternativa 5 y 6 es la menos viable puesto que la generación de perdidas es la mayor con 4,45 kW, por tanto es la menos opcional comparada con las dos alternativas anteriores.

En conclusión, con la aplicación de este desplazamiento se obtiene un ahorro de 20,2 M\$/año (Ver anexo traslado de transformadores), debido a la disminución en la facturación entregada por el mercado No Regulado.

2.3. Factor de Potencia en Transformadores

Con respecto al factor de potencia, en la Tabla 7 se resume el comportamiento de este parámetro durante los 698 días evaluados, y que corresponde al periodo comprendido entre Enero del 2011 y Noviembre del 2012. En dicha tabla se especifican los valores máximo, promedio y mínimo.

Tabla 7. Factor de potencia global en los transformadores

Transformador	Mínimo	Promedio	Máximo
Inyección	0,87	0,95	1,0
Soplado	0,93	0,98	1,0
Impresión	0,85	0,94	1,0

De lo anterior se recomienda mejorar el factor de potencia en los circuitos de mayor demanda de energía reactiva, con el propósito de liberar kVA en los transformadores de potencia y reducir las pérdidas por distribución en el sistema.

La Tabla 8 contiene la información requerida para mejorar el factor de potencia.

Tabla 8. Mejora de Factor de potencia en transformadores

Transformador	P promedio (kW)	FP		S (kVA)		kVAR requeridos
		Actual	Deseado	Actual	Mejorado	
Inyección	102,02	0,95	0,98	107,27	104,10	11,94
Soplado	100,37	0,98	0,98	102,89	102,42	0,00
Impresión	113,09	0,94	0,98	119,78	115,40	11,71
Total						23,65

Se observa en la Tabla 8 registra que el transformador con el menor factor de potencia, pero no inadecuado, es el de la subestación de Impresión, con un valor promedio de 0,94. Este factor es susceptible de mejorar si se mejora la operación del banco automático de compensación reactiva de la subestación de impresión.

Para que el factor de potencia del transformador de impresión adquiriera un valor promedio de 0,98, se requiere la instalación de un banco de condensadores de 23,65 kVAR.

En el caso del transformador de inyección el factor de potencia es adecuado (0,95 en promedio), aunque podría mejorarse compensando internamente las cargas de mayor consumo, o directamente en el barraje a 220 V del transformador de 300 kVAR.

El transformador de la subestación de soplado opera con un factor de potencia adecuado, por lo que indica que posee un correcto balance de cargas y un buen manejo de control de energía reactiva.

Es importante recalcar que la compensación reactiva a nivel de distribución se hace muy atractiva por los siguientes aspectos:

- Al disminuir las corrientes reactivas, las pérdidas por transformación y distribución disminuyen.
- Aumenta el rendimiento en los transformadores.
- La distorsión armónica de corriente referida a plena carga en el transformador se reduce (como consecuencia de la liberación de kVA en los transformadores).
- Se evitan las penalizaciones por consumo de energía reactiva (aunque la planta no adolece de este problema por la adecuada compensación centralizada a 13,2 kV).

2.4. Análisis Global De Iluminación

En esta sección se presenta un estudio global del sistema de iluminación en la planta de producción, con el propósito de evaluar alternativas que permitan el uso eficiente de la energía eléctrica.

Para llevar a cabo el estudio de iluminación se realizó (por personal de la planta) un inventario global de la cantidad y tipo de luminarias instaladas en las principales áreas de trabajo. Los resultados del inventario y las horas aproximadas de trabajo, se encuentran consignados en la Tabla 9 respectivamente.

Tabla 9. Inventario de Luminaria en Planta de Producción

Área / Sección	Tipo Luminaria	Cantidad	Observaciones	Horas de trabajo x Área
Inyección	Fluorescente T-12 4 x 75 watts	21	2 lámparas muy altas	24
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	12		
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	1		
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	1		
Cuerpos Huecos	Fluorescente T-12 4 x 75 watts	17		24
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	23		
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	6		
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	2		
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	4		
Serigrafía	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	35	6 lámparas muy altas	16
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	6		
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	1		
Impresión	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	34	15 lámparas son muy altas	24
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	10		
Tintas, compresores, bodega sobre taller	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	9		12
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	1		
Multipropósito	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	14		24
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1		
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	3		
Bodega	Fluorescente T-12 4 x 74 watts	1	N-A	10
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	2		
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	25		
Auditorio	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	6		0,5
Residuos	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	2		10
Materiales y Cajas	Fluorescente t-12 2 x 75 watts	2		16
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	3		
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	1		

Área / Sección	Tipo Luminaria	Cantidad	Observaciones	Horas de trabajo x Área
Mezcladores, Molino, Oficinas Producción	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	15		16
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	1		
Supervisión	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2		24
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	9		
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1		
Cuarto Limpio	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	6		24
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	10		
Metalizado	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2		4
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	8		
Tornos, Bodega Colina	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2		8
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	5		
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	3		
Depto. Técnico.	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	9		8
Cepillos	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	7		2
Metrología	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	12		20
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	5		
Vestier Mujer	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	6	2 muy Altas	4
Vestier Hombres	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	4		4
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	8		
	Fluorescente T-12 1 x 40 watts	1		
Portería, Pasillo, oficinas planta 1	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1		16
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	21		
Oficinas Planta 2	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	56		10
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2		
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	4		

Con relación al inventario de lámparas enseñado en la Tabla 9 (en el cual se especifica, el tipo de luminaria, la capacidad instalada en Watts, y el tiempo en horas de trabajo), se obtienen los siguientes datos globales:

- Número de lámparas instaladas (independiente del tipo de lámpara): 959 lámparas.
- Capacidad instalada de las lámparas evaluadas: 81,942 kW.

Es de resaltar que el sistema de iluminación no fue incluido como tema de interés al inicio de este trabajo, sin embargo, al representar el 29,6 % de la energía total requerida por la planta (275.928 kWh/mes), se optó por realizar un análisis exhaustivo del sistema en mención, de tal manera que se obtuvieron alternativas interesantes que permiten el uso eficiente de la Energía Eléctrica.

Algunas de estas alternativas se enuncian a continuación:

1. Utilizar un nivel de iluminación adecuado sólo en los espacios donde sea requerido.
2. Uso de tejas traslúcidas para el aprovechamiento de la luz natural (Bodega de Materias Primas, Bodega de Producto Terminado, Zona de refrigeración y aire comprimido).
3. Aprovechamiento de la luz natural en espacios abiertos o con ventanales (Zona Inyección, Oficinas Administrativas, Cafetín).
4. Iluminar sólo cuando sea requerido (durante la noche y donde no se pueda aprovechar la luz natural).
5. Apagar lámparas innecesarias e iluminar sólo cuando sea requerido (Mezanines, Subestaciones Eléctricas, Oficinas de mantenimiento, Oficinas Administrativas, Baños, Pasillos y corredores, etc.)
6. Uso de sensores de presencia en las zonas donde se requiera iluminación mientras se esté trabajando (por ejemplo en el molino, fabricación de cajas, oficinas ubicadas en el pasillo camino a serigrafía desde la zona de cuerpos Huecos, zona de Compresores, zona de residuos).
7. Sustitución de lámparas estándar actuales por lámparas eficientes T8 de 32 W con balastro electrónico.

Teniendo en cuenta factores como, la altura de montaje de las lámparas, vida útil de las lámparas, horas de operación del sistema de iluminación, rendimiento luminoso (Lm/W) y consumo de energía eléctrica, se plantean algunas alternativas para sustituir lámparas convencionales (T12 de 75 W) por lámparas de alta eficiencia energética (T8 de 32 W), las cuales suministran un flujo luminoso estándar de 2800 lumens. Todo lo anterior sin detrimento del confort luminoso en las áreas que por norma lo requiera.

En la Tabla 10 se enuncian algunas recomendaciones que permiten obtener ahorros de energía.

Tabla 10. Evaluación Económica para la sustitución de lámparas convencionales por alta eficiencia

Área / Sección	Tipo Luminaria Actual	Cantidad	Potencia Total [W]	Recomendación	Disminución E (kWh/año)	Ahorro (M\$/año)
Inyección	Fluorescente T-12 4 x 75 watts	21	7,14	Sustituir por 8 de T8 de 8x32 W = 256 W	1,764	\$ 5,87
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	12	0	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,744	
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	1	0	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,051	
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	1	40	Iluminaria Igual	0,04	
Cuerpos Huecos	Fluorescente T-12 4 x 75 watts	17	300	Sustituir por 8 de T8 de 8x32 W = 256 W	1,428	\$ 6,78
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	23	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	1,426	
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	6	40	Iluminaria Igual	0,24	
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	2	75	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,102	
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	4	64	Iluminaria Igual	0	
Serigrafía	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	35	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	2,17	\$ 3,39
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	6	64	Iluminaria Igual	0	
	Fluorescente T-12 1 x 75 watts	1	75	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,051	
Impresión	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	34	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	2,108	\$ 4,83
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	10	40	Iluminaria Igual	0,4	

Tabla 10. Evaluación Económica para la sustitución de lámparas convencionales por alta eficiencia (Continuación)

Área / Sección	Tipo Luminaria Actual	Cantidad	Potencia Total [W]	Recomendación	Disminución E (kWh/año)	Ahorro (M\$/año)
Tintas, compresores, bodega sobre taller	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	9	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,558	\$ 0,64
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	1	64	Iluminaria Igual	0	
Multipropósito	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	14	64	Iluminaria Igual	0	\$ 0,14
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,062	
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	3	40	Iluminaria Igual	0,12	
Bodega	Fluorescente T-12 4 x 74 watts	1	300	Sustituir por 8 de T8 de 8x32 W = 256 W	0,084	\$ 1,54
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	2	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,124	
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	25	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	1,4	
Auditorio	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	6	64	Iluminaria Igual / Sensor de Ocupación	0	\$ 0,00
Residuos	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	2	80	Iluminaria Igual	0,112	\$ 0,11
Materiales y Cajas	Fluorescente t-12 2 x 75 watts	2	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W / Sensor Ocupación	0,124	\$ 0,28
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	3	40	Sensor de Ocupación	0,12	
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	1	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	0,056	
Mezcladores, Molino, Oficinas Producción	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	15	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	0,84	\$ 1,28
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	1	40	Iluminaria Igual / sensor de ocupación	0,04	

Tabla 10. Evaluación Económica para la sustitución de lámparas convencionales por alta eficiencia (Continuación)

Área / Sección	Tipo Luminaria Actual	Cantidad	Potencia Total [W]	Recomendación	Disminución E (kWh/año)	Ahorro (M\$/año)
Supervisión	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2	40	Iluminaria Igual	0,08	\$ 1,30
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	9	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,504	
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,062	
Cuarto Limpio	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	6	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,372	\$ 2,14
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	10	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,56	
Metalizado	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2	40	iluminaria Igual	0,08	\$ 0,19
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	8	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,496	
Tornos, Bodega Colina	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2	40	iluminaria Igual	0,08	\$ 0,36
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	5	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	0,28	
	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	3	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W / Sensor Ocupación	0,186	
Depto. Técnico.	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	9	64	Iluminaria Igual / Sensor de Ocupación	0	\$ 0,00
Cepillos	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	7	64	Iluminaria Igual / Sensor de Ocupación	0	\$ 0,00
Metrología	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	12	64	iluminaria Actual	0	\$ 0,53
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	5	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,28	
Vestier Mujer	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	6	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	0,336	\$ 0,13

Tabla 10. Evaluación Económica para la sustitución de lámparas convencionales por alta eficiencia (Continuación)

Área / Sección	Tipo Luminaria Actual	Cantidad	Potencia Total [W]	Recomendación	Disminución E (kWh/año)	Ahorro (M\$/año)
Vestier Hombres	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	4	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W / Sensor Ocupación	0,248	\$ 0,28
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	8	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	0,448	
	Fluorescente T-12 1 x 40 watts	1	40	Sustituir por 1 de T8 de 32 W / Sensor Ocupación	0,048	
Portería, Pasillo, oficinas planta 1	Fluorescente T-12 2 x 75 watts	1	150	Sustituir por 4 de T8 de 4x32 W = 128 W	0,062	\$ 1,89
	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	21	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W / Sensor Ocupación	1,176	
Oficinas Planta 2	Fluorescente T-12 2 x 40 watts	56	80	Sustituir por 2 de T8 de 2x32 W = 64 W	3,136	\$ 3,00
	Fluorescente T-12 2 x 20 watts	2	40	Iluminaria Igual / Sensor de Ocupación	0,08	
	Fluorescente T-8 2 x 32 watts	4	64	Iluminaria Igual / Sensor de Ocupación	0	
total					22.678	\$ 34,67

Con la ejecución de estas recomendaciones se puede lograr una disminución del consumo de energía de 22.678 kWh/año, representado en un ahorro total de 34,67 M\$/año, debido al cambio de lámparas convencionales por las de alta eficiencia.

El costo de la inversión es de aproximadamente 19,01 M\$, para un tiempo de recuperación de la inversión de 0,55 años (6,7 meses).

La instalación de sensores de ocupación reduce el consumo de energía de forma proporcional a las horas de uso que sea activado, por lo que sólo se ha recomendado en determinadas zonas en las que el uso de la iluminación depende solamente de la intervención directa del operario y/o personal que se encuentre presente en la zona.

2.5. Análisis de Motores

En esta sección se realiza un análisis técnico/financiero para determinar la posibilidad de sustituir motores estándares de corriente alterna por motores de alta eficiencia cuyos rendimientos son más altos.

Se debe considerar que cuando un motor ha tenido reparaciones o mantenimientos severos, es inevitable que sufra una reducción en su rendimiento. Esta reducción puede variar entre un 2 y un 20 % dependiendo de la calidad de la reparación. Por tal motivo y dado que durante su vida útil el costo de operación del motor (el costo de la energía eléctrica que consume) es del orden de 50 veces el costo del motor en sí, se recomienda evaluar siempre la posibilidad de utilizar motores de alta eficiencia en instalaciones nuevas y también cuando sea necesario reparar un motor existente.

Los motores seleccionados para ser evaluados son aquellos que cuentan con un número alto de horas de operación ó que presentan un consumo energético elevado.

Para el análisis se tuvo en cuenta los datos nominales de cada motor y sus horas de operación (información suministrada por el personal de la planta). Se realizaron mediciones de potencia para determinar el factor de carga al que se encuentran operando estos motores y su respectivo factor de potencia. Con estas condiciones, se obtuvo la eficiencia para cada motor estándar a partir de la Norma NEMA MG1 1987, Tabla 12 6-B y del software Motor Master Plus Internacional del Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. Department of Energy, 2011).

Para realizar el estudio de factibilidad de sustitución, se buscaron motores comerciales de alta eficiencia que se pudieran instalar fácilmente sin mayores adaptaciones en los acoples. Se seleccionó la marca SIEMENS y GENERAL ELECTRIC (GE), simplemente porque se disponía de amplia información sobre sus productos y precios, pero existen muchas marcas comerciales con características técnicas y económicas muy semejantes.

Los costos de los motores de alta eficiencia presentados en el análisis económico fueron tomados de la página de Internet www.siemens.com.

El estudio consiste en reemplazar un motor estándar que se encuentra operando en condiciones normales por un motor de alta eficiencia, donde el nuevo motor se adapte mejor a la carga que se le demanda, para así obtener mayores rendimientos. Para lograr estos rendimientos se busca que el motor de alta eficiencia tenga un índice de carga cercano al 75 %.

Se analizaron 7 motores estándar, de los cuales sólo 3 fueron medidos con el fin de identificar la demanda de potencia en cada uno de ellos. En estos 3 motores estándar se realizaron los cálculos técnicos y los resultados se extendieron a los

demás motores, pues se asume que los otros motores tienen consumos y características de operación muy similares.

En la Tabla 11 se describen los datos nominales y las horas de operación al año de los 6 motores elegidos para la evaluación.

Tabla 11. Motores y Datos Nominales

Equipo	HP	kW	Marca	RPM	V(V)	I (A)	F (Hz)	h/año
Inyectora 1-4	44,2	33	---	1765	220	100	60	8060
Inyectora 1-5	64	48	---	1765	220	140	60	8060
Inyectora 1-6	52	39	---	1765	220	120	60	8060
Coextrusora Bonmac motor interno	10	7,5	---	1450	220	31	60	8060
Coextrusora Bonmac motor externo	7,5	7,5	---	1450	220	23	60	8060
Compresor Atlas GA30	40	30	Atlas Copco	1800	220	80	60	8760
Chiller circuito agua fría primario.	25	19	Copeland	1750	220	85	60	8760

Adicionalmente, en la Tabla 12 se presentan algunos parámetros que permiten estimar con un buen grado de certeza la eficiencia de los motores a evaluar. Dichos parámetros son: la corriente promedio y de arranque (para los que fue posible arrancar), el factor de potencia promedio, y la potencia activa promedio. Además se presenta el cálculo del factor de carga a la potencia promedio, así como la eficiencia al factor de carga promedio (tomada de la Tabla 12-6B de NEMA MG 1-1987).

Tabla 12. Factor de carga y eficiencia actual de los motores evaluados

Equipo	I(A)		Potencia (kW)	Factor De Carga	EF st %
	Promedio	Arranque	Promedio	Promedio	
Inyectora 1-4	24,52	-	8,2	0,25	89,6
Inyectora 1-5	24,52	-	8,5	0,18	86,2
Inyectora 1-6	24,52	-	8,1	0,20	88,2
Coextrusora Bonmac motor interno	20	22,1	4,9	0,65	88,9
Coextrusora Bonmac motor externo	7	7,8	2,3	0,30	82,9
Compresor Atlas GA30	44	50	16,7	0,55	92,8
Chiller circuito agua fría primario.	65	-	14,5	0,75	93,2

EF st: eficiencia del motor estándar al factor de carga promedio

En la Tabla 13 se presenta el estudio técnico/económico para la sustitución de los motores actuales por otros de alta eficiencia. Para este análisis se tuvo en cuenta los datos nominales de los motores actuales y sus horas de operación, además, se buscaron motores comerciales de alta eficiencia que se pudieran instalar fácilmente sin mayores adaptaciones en los acoples.

Tabla 13. Motores de Alta Eficiencia y Evaluación Económica

Equipo	Marca	Referencia	HP Nom	F.C. (%)	Precio (\$)	Ahorro (kWh/año)	Ahorro (\$/año)	TRI (años)
Inyectora 1-4	GE	S4213	30	33,3	2.784.600	1.393	426.640	4,9
Inyectora 1-5	GE	S288	50	21,6	4.084.200	2.322	711.071	4,4
Inyectora 1-6	GE	S283	40	25	3.326.400	1.095	335.107	7,5
Coextrusora - interno	Siemens	GP100	10	65	1.702.800	1.501	459.606	2,8
Coextrusora - Externo	Siemens	GP100	7,5	18,5	1.400.400	8 928	2 633 719	1,51
Compresor Atlas GA30	GE	S4213	30	30	2.784.600	984	301.307	3,6
totales					16.083.000	7.295	2.233.731	7,20

Los cálculos fueron realizados con un costo de la energía eléctrica de 306,17 \$/kWh y de una tasa de cambio de 1800 pesos por dólar. Con esta información, el Motor Master nos entrega una reducción de consumo de energía de 7,3 MWh/año, lo cual representa un ahorro de 2,2 M\$/año. La inversión requerida para esta propuesta es de 16 M\$ y el TRI (tiempo de recuperación de la inversión) es de 7,2 años. Los motores que tienen TRI superiores a tres años, pueden disminuir este tiempo en la medida en que el nuevo motor trabaje más horas promedio a futuro.

2.6. Análisis de Aislamientos Térmicos

Uno de los aspectos que más incidencia tiene en el consumo específico de las extrusoras e inyectoras, es el consumo de energía eléctrica de sus elementos resistivos, debido a que la temperatura que controlan puede afectar tanto la calidad del proceso como el consumo de energía de los motores utilizados.

En las zonas de calentamiento de las extrusoras e inyectoras (resistencias) se detectaron puntos que carecen de aislamiento térmico (temperaturas de hasta 260°C), por lo que se recomienda aislar los tramos de resistencias eléctricas que conforman las extrusoras e inyectoras (UPB, 2013).

En la Tabla 14 se realiza una evaluación de los beneficios de esta implementación para cada una de las diferentes máquinas.

Tabla 14. Aislamiento Térmico

Variable	Equipo				Unidad
	Inyectora 1-4	Inyectora 1-5	Inyectora 1-6	Coextrusora	
T. Ambiente	25	25	25	25	°C prom
T. Operación	210	190	170	290	
Consumo Energía sin aislamiento	80.039	80.039	80.039	78.031	kWh/año
Consumo Energía con aislamiento	12.806	12.806	12.806	12.485	
Tiempo de operación	6.240	6.240	6.240	6.240	h/año
Área a aislar	1,2	1,2	1,2	2,5	m ²
Costo de la Energía sin aislamiento	\$ 24.505.410	\$ 24.505.410	\$ 23.890.813	\$ 24.505.410	\$/año
Costo de la Energía con aislamiento	\$ 3.920.866	\$ 3.920.866	\$ 3.822.530	\$ 3.920.866	
Ahorro por el uso del aislamiento	\$ 20.584.544	\$ 20.584.544	\$ 20.068.283	\$ 20.584.544	

De la Tabla 14 se tiene que, el efecto del aislamiento en la reducción del calor disipado es del 84 % en promedio para las inyectoras y la extrusora.

Esta implementación representa una disminución en el consumo de energía eléctrica de 267,2 MWh al año y un ahorro de 81,8 M\$/año.

Se tiene que para alcanzar el aislamiento propuesto, es necesaria la instalación de mantas cerámicas aislantes con un espesor de 2 pulgadas, con un costo aproximado de 7,5 M\$ por los 6,2 m² requeridos, arrojando un retorno de la inversión de un mes.

Para esta actividad se cuenta con diversas empresas en la ciudad, como Empaquetaduras y Empaques S.A. que pueden proveer los aislamientos requeridos.

Adicional a la reducción en el consumo de energía, se reportan otros beneficios relacionados con la utilización del aislamiento térmico:

- Mejor ambiente de trabajo y posibilidad de ventilación sin pérdidas energéticas.
- Mejoramiento del rendimiento eléctrico del equipo.

- Mayor seguridad para el personal.
- Menor tiempo de arranque del equipo en frío.
- Mayor vida útil del sistema eléctrico.
- Mejora en la fluidez y uniformidad del material extruido.
- Mantas totalmente ignifugas y dieléctricas.
- Mayor limpieza total de la zona.
- Menor shock térmico para las resistencias y partes expuestas respecto al medio ambiente.

CAPITULO 3

3.1. Programa Gestión Energética Norma ISO 50001

La información contenida en esta sección es sobre la norma de gestión energética, es evaluada con base en el Informe Técnico realizado a la compañía Cristar-Buga, en donde participo mi director de tesis el Ing. Esp. Eduard Nibaldo Figueroa Carrillo.

En general la gestión energética puede definirse como el análisis, planificación y toma de decisiones con el fin de obtener el mayor rendimiento posible de la energía que se necesita; esto es, lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin disminuir la calidad de los servicios y la producción.

La gestión energética debe enfocarse en dos frentes principales: Gestión de los recursos energéticos y la gestión del uso de la energía. Para el caso de la gestión de los recursos, el administrador de las diferentes fuentes energéticas (Derivados del petróleo, gas, electricidad, carbón, etc.) debe seleccionar cuál de estos es el adecuado para utilizar en cada proceso, debe colaborar en la selección de nuevas tecnologías sobre la conveniencia de su aplicación, incluyendo costos, confiabilidad de suministro, seguridad, disponibilidad de sustitutos, etc. Además de adquirir el recurso, identificar proveedores, negociar precios, asegurar suministro continuo, determinar nivel de almacenamiento, planear y ejecutar planes de contingencia ante la ausencia de los recursos (Energy Office, 2013).

La gestión del uso de la energía se refiere a la forma en que se usan los recursos energéticos, buscando que sean utilizados de forma eficiente, analizando y controlando la forma en que los equipos o procesos consumen energía para llevar a cabo acciones correctivas cuando el desempeño sea bajo.

Para que un sistema de gestión energética tenga éxito, se debe realizar considerando tres aspectos básicos: Base en costos, integración operacional y permanencia técnica.

3.1.1 Niveles de la Gestión Energética

Entre los aspectos a evaluar para determinar el nivel de gestión energética en una empresa, están la política energética, la organización, los mecanismos de comunicación, los sistemas de información e inversión.

3.1.2. Política energética

La política energética de la empresa es la manifestación escrita de la filosofía empresarial y principios estratégicos, así como del compromiso de desarrollar una conciencia por el uso racional de energía en la empresa. De esta política se deducen metas energéticas concretas, que deben revisarse periódicamente y cumplir ciertos requisitos formales.

La política refleja la filosofía de la empresa y las metas llevan a acciones muy definidas. Es importante en la elaboración de metas definir la extensión del proyecto (cuantificable), fijar el marco de tiempo, y determinar las responsabilidades. Además, para determinar la utilidad de cada meta, se debe conocer si es alcanzable y realista, si se puede cuantificar, si hay mejoras concretas al concluir la meta propuesta y si la meta fue definida con base en datos e informaciones sólidas (Energy Office, 2013).

3.1.3. Organización y Mecanismos de Comunicación

La gestión energética debe estar estructurada y organizada de acuerdo con el esquema interno de la empresa misma, y ser documentada adecuadamente. Una tarea central dentro de la implementación de la gestión energética de una empresa es la formación de estructuras y la definición de responsabilidades correspondientes de acuerdo con las ya existentes.

Al implementar nuevas responsabilidades y tareas, se debe analizar también si existen problemas de motivación o se han encomendado ciertas tareas a

empleados que no tienen interés en ellas. El ámbito del control energético es una asignación que requiere un cierto entusiasmo para funcionar bien.

Los programas internos de eficiencia energética, o bien proyectos individuales destinados a reducir u optimizar el uso de energía en la empresa y sus resultados, se deben comunicar al personal de planta a través de programas de motivación y capacitación de los empleados. Dentro de una gestión energética, el comité es el encargado de impulsar, planificar, coordinar y acompañar dichos programas con eficiencia y regularidad.

Dentro de los programas energéticos se pueden indagar por seminarios y talleres de capacitación para motivar a los empleados hacia un uso racional de la energía, entrenamiento y concientización para cambiar conductas de desperdicio energético de operadores de ciertas áreas, programas de competencia entre áreas hacia una mayor eficiencia energética y análisis energéticos de equipos o sistemas (servicios industriales).

3.1.4. Sistema de información energética

El sistema de información energética está constituido por registro de datos (energéticos y relacionados), administración interna de datos, sistema de análisis y comparación de datos, sistema de planificación y presupuesto de energía, cálculo de costos de energía y sistema de reporte, documentación e información interna.

Dentro de la gestión de la energía en planta, el control energético constituye el núcleo del sistema de gestión y tiene funciones de información, motivación y servicio. El control energético proporciona la información necesaria para la planificación y el manejo de la demanda de energéticos y de los proyectos relacionados así como para la fijación de metas energéticas. Además proporciona información necesaria para la toma de decisiones empresariales relacionadas con el sistema energético.

El control energético comprende todas las funciones de registro y administración de datos, análisis de datos y fijación de metas, así como la concepción y planificación de medidas reguladoras.

En el proceso de control de variables energéticas se involucran las diferentes áreas de la empresa, partiendo de la participación de la gerencia en cuanto a estrategias, pasando por las áreas de contabilidad (presupuestos y costos energéticos), producción (relación entre la producción y la demanda de energía) y finalmente la planta o consumidor de energía en sus diferentes formas.

Registro de datos energéticos: La determinación de los datos que deben registrarse continuamente (recolección) dependen de la evaluación inicial de los consumos de la planta en sus diferentes procesos, determinada generalmente por

un ente externo (debido al conocimiento y a la utilización de equipos de alto costo). Es importante, antes de instalar costosos instrumentos de medición y de registro de datos, precisar cuáles serán las informaciones que se deducirán de los datos registrados y qué parámetros son necesarios conocer con cierta regularidad. Estos datos serán importantes para la construcción de indicadores de gestión energética.

Las actividades para recolectar datos son: determinar la cantidad y la calidad de los datos por registrar (sus dimensiones, los intervalos y las tolerancias), fijar los volúmenes de control para establecer balances energéticos, corregir los puntos débiles de los sistemas existentes de medición y registro de datos y adaptar continuamente el sistema de medición y registro y sus instrumentos a las necesidades del control energético de la empresa. Los datos de energía deben clasificarse según los diferentes niveles y las diferentes áreas de la empresa que fueron detallados en el primer análisis empresarial (Energy Office, 2013).

Administración interna y manejo de datos: Es importante tener un sistema interno conciso de administración y manejo de todo lo relacionado con la energía. Esto puede lograrse mediante bancos de datos electrónicos o mediante archivos convencionales. La variedad de sistemas de manejo de datos es grande y depende fundamentalmente del grado de inversión de la empresa, puesto que pueden hacerse tan automáticos como sea posible. Lo más importante es encontrar un sistema que se acomode a las necesidades de cada empresa y que tenga consistencia y claridad, para que pueda ser manipulado e interpretado por las diferentes áreas dentro del sistema integral energético.

Análisis, comparación y evaluación de datos – Indicadores de eficiencia energética: Existen numerosos métodos de análisis y evaluación de datos, por ejemplo: Levantar balances energéticos de sistemas o áreas para encontrar eficiencias, realizar registro de datos energéticos históricos de proceso o equipo para determinar metas comparables (método de control por objetivos o Monitoring & Targeting) o indicadores de eficiencia energética.

Planificación y presupuesto de energía: Conociendo los consumos específicos de áreas y equipos se obtiene una buena seguridad de planificación y se pueden presupuestar los consumos y costos absolutos dependiendo de la producción proyectada. Al fijar los presupuestos, es importante tomar en cuenta los posibles potenciales de ahorro encontrados (y las medidas planeadas) así como las metas energéticas puestas.

Con esta información, el departamento responsable (el comité de energía, la gerencia general, etc.) pueden fijar un presupuesto definido de consumos (y costos) energéticos para cada área de la empresa.

El paso final del control energético es evaluar de forma periódica si se ha logrado estar dentro del presupuesto.

Cálculo interno de costos de energía: La gestión energética juega un papel clave en el cálculo interno de los costos de energía y su atribución a las diferentes áreas de la empresa. La determinación de los centros de costo energético hace parte de un programa de gestión energética por monitoreo y objetivos.

Sistema de reporte e información interna: La tarea principal de una documentación de datos energéticos y relacionados, por ejemplo, en forma de un reporte energético, es la de proveer con información adecuada a los responsables de las respectivas áreas de la empresa. Tomando en cuenta que la demanda de información de cada una de las áreas puede ser muy diferente, es conveniente establecer un reporte modular y jerárquico.

El contenido de los reportes depende del público objetivo, así para la alta gerencia se debe hacer un reporte corto y con indicadores de la empresa en general, por ejemplo consumos totales de energéticos de toda la empresa, consumos específicos de energía por unidad de producción, proyectos energéticos y resultados de los ya ejecutados (ahorros, inversiones y tiempo de recuperación) etc. Para el siguiente nivel o nivel de administración media, se deben incluir los datos energéticos de las diferentes áreas de la empresa, por ejemplo, consumos específicos de cada departamento o proceso, resultados de proyectos energéticos.

Los reportes para el tercer nivel, comprendido por supervisores u operarios, relacionados directamente con los centros de alto consumo energético, deben incluir además variables energéticas de operación de sus equipos.

3.1.5. Política de Inversión

El nivel de compromiso en gestión energética de las empresas está estrechamente relacionado con sus políticas de inversión para la implementación de proyectos y programas energéticos. Estas se clasifican en cuanto al monto y tiempo de retorno comparada con el resto de las inversiones que realiza.

3.2. Gestión del Uso de la Energía

La técnica de monitoreo y control por objetivos es el proceso de analizar datos históricos para determinar el nivel de consumo energético estándar (promedio) y el nivel objetivo contra el cual se van a comparar los niveles futuros de consumo. Estos niveles promedio y objetivo, normalmente reflejan factores que influyen en el consumo energético tales como productividad, condiciones ambientales, prácticas de trabajo, estado de calibración de medidores, etc.

Los dos objetivos principales del monitoreo y control por objetivos son la detección de desperdicios y la supervisión periódica de los consumos de energía. La detección de desperdicios, permite determinar cuando los niveles de eficiencia

están disminuyendo en una base determinada (día o semana). Esta información enfoca al personal del área donde está ocurriendo el problema para tomar acciones correctivas y por lo tanto previene el desperdicio continuado.

La supervisión de los consumos de energía durante períodos más largos de tiempo, (normalmente un mes o un año) permiten cuantificar economías o pérdidas que hallan ocurrido durante este periodo.

El éxito de un programa de monitoreo y control por objetivos depende de la realización de una comparación significativa entre el consumo real y el consumo esperado, es decir, el consumo de energía que podría esperarse realmente si ésta fuera controlada bajo circunstancias dadas realizando comparaciones entre el estándar y el objetivo.

Para obtener una relación entre la energía y su variable se utiliza la técnica de la regresión, donde se define el consumo de energía en términos históricos de la carga base o tasa de consumo fijo y la carga variable o consumo de energía que depende de la producción. La carga base es la cantidad de energía que se consumiría a producción cero, que puede incluir periodos de arranque de proceso como puesta a punto de condiciones de operación, operación de equipos en vacío, iluminación, etc. La carga base en una técnica de regresión es la intersección de la línea con el eje y.

De otra parte, la carga variable es la cantidad de energía que se necesita por cada unidad extra de la variable, por ejemplo, cuanta más energía se necesita para producir una tonelada extra de producto, y representa la eficiencia del equipo y/o proceso analizado. Esta es definida por la pendiente de la ecuación. También la carga variable da una base para calcular los ahorros relacionados con los usuarios de cargas variables de energía. Estos ahorros se pueden obtener sin la implementación de medidas de operación o mantenimiento que incrementen la eficiencia, reduciendo la pendiente de dicha gráfica (Serna, 2010).

3.2.1. Monitoreo

La primera etapa en el proceso de gestión por monitoreo y control de objetivos es la recolección de datos. Los ítems para ser monitoreados son:

- a) Consumos de energía eléctrica.
- b) Producción total o parcial por zona de proceso.

Los intervalos de monitoreo pueden ser elegidos por la empresa, aunque existen dos reglas generales.

- Diario o semanal, para la detección del desperdicio.
- Mensual, para generar reportes corporativos.

3.2.2. Energía primaria

En FORMACOL S.A se usa energía eléctrica en motores, iluminación, generación de aire comprimido y refrigeración de equipos.

3.2.3. Uso de los Análisis de Regresión

Existen diferentes métodos para el análisis de los consumos de energía que deben ser calificados para determinar potenciales de ahorro de acuerdo con el proceso.

El método preferido para comparar los consumos de energía contra una variable es la técnica de análisis de regresión. En este método se define que la energía usada en un proceso tiene dos elementos:

- a) Una rata de consumo fija: Carga base.
- b) Un consumo de energía que depende de la producción: Carga variable.

La primera etapa en Gestión Energética por Monitoreo y Objetivos es analizar los datos históricos para establecer una rata de consumo de energía estándar o promedio, para esto se utiliza una regresión lineal tal como se muestra en la Figura 3.1.

Comparando los datos históricos con la línea promedio, se puede determinar el comportamiento energético relativo para cada uno de los períodos de tiempo analizados, además, una dispersión muy alta en la gráfica es indicativo de un pobre control en el proceso (Serna, 2010).

En la Figura 3.1 se presentan los puntos elegidos, para determinar el objetivo.

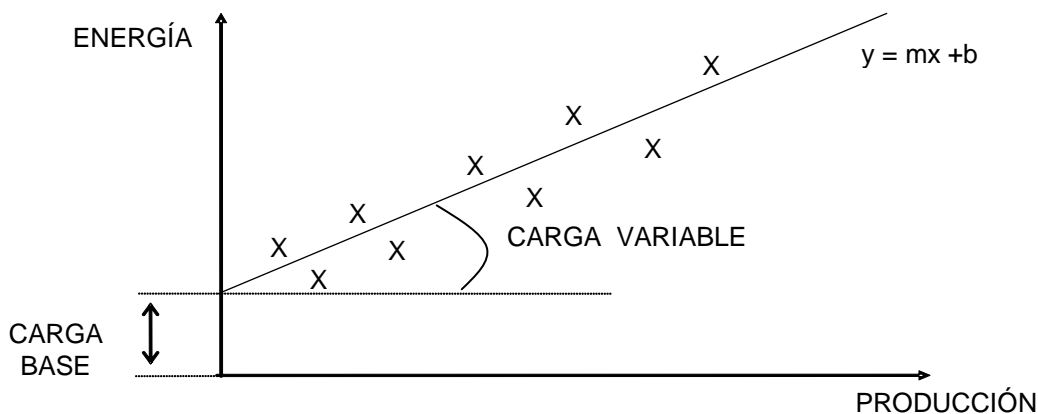


Figura 3.1 Determinación del consumo de energía promedio

En la Figura 3.2 se presenta la forma de determinar la línea objetivo. Los puntos por encima del promedio son los puntos en los que se tuvo un mal rendimiento y los puntos por debajo indican dónde se realizó un mejor uso del recurso.

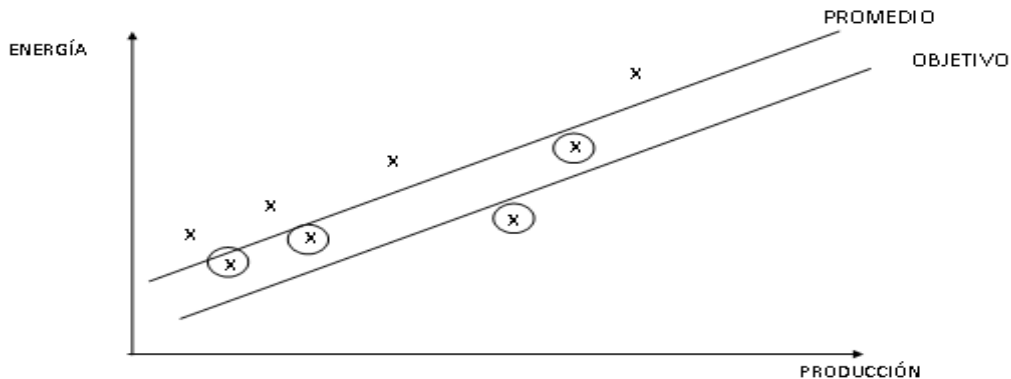


Figura 3.2 Determinación de la línea objetivo

Las regresiones promedio y objetivo deben ser actualizadas periódicamente para analizar los progresos en la conservación de energía. Los nuevos objetivos demuestran qué cambios han ocurrido en el uso de la energía.

3.2.4. Técnica “CUSUM” para determinación de ahorros acumulados

Si el sistema se mantiene al mismo nivel de eficiencia, no se puede esperar que cada semana o cada mes el consumo de energía sea exactamente el objetivo, se encontrarán menores valores de variancia durante el tiempo.

Por esta razón, es conveniente mirar la sumatoria de estas variancias sobre un número de períodos con el fin de establecer tendencias en el consumo de energía en un gráfico “CUSUM” (Cumulative Sum of Deviances) (Ver Figura 3.3).

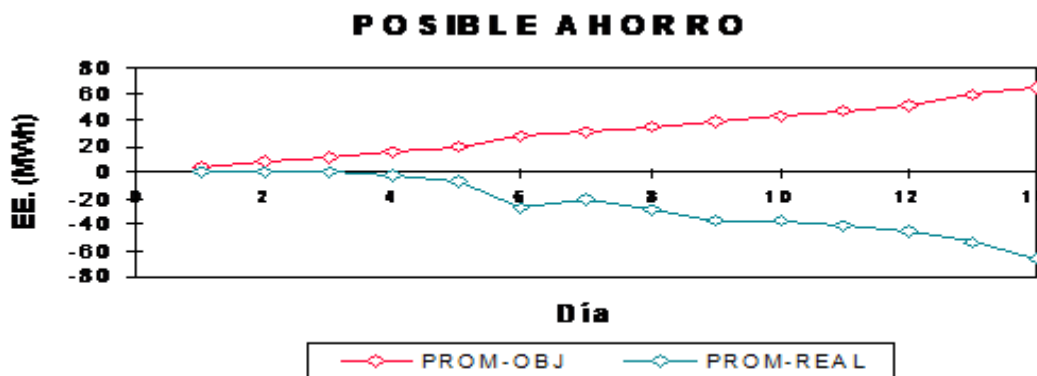


Figura 3.3 Gráficos “Cusum” y de ahorros acumulados

El principal beneficio de las gráficas CUSUM es que la curva muestra el desempeño de los Centros de Costo Energético; una línea horizontal muestra que los niveles de consumo no son mejores ni peores que el promedio y una línea con tendencia a bajar muestra un mal desempeño desde el punto de vista energético y una línea hacia arriba indica que los consumos han mejorado con respecto al promedio (Serna, 2010).

El programa de gestión de la energía por objetivos permite realizar comparaciones entre el consumo energético actual con el histórico y realizar acciones de manejo de la energía que pueden llegar a representar aproximadamente el 5 % de ahorro de los consumos energéticos.

3.2.5. Centros de Costo Energético

Los centros de costos de energía son aquellas zonas del proceso que se desean monitorear con el programa de administración energética. Pueden coincidir con los centros de costos contables, pero la mayoría de ocasiones no lo hacen.

Un CCE puede tomarse como la planta completa, un proceso o un elemento individual, esto depende de la importancia que tenga para el consumo desde el punto de vista energético. Cada CCE debe tener la posibilidad de registrar sus consumos de energía y su producción y pueden crearse o eliminarse a disposición del programa de administración (Serna, 2010).

En la siguiente sección se explica toda la metodología anteriormente expuesta, aplicándolo para la operación de la planta.

3.3. Aplicación del Programa de Gestión Energética a Formacol S.A

Para el análisis del programa de gestión energética, se eligió como período base Enero – Diciembre del 2012.

3.3.1 Centros de Costo Energético

El centro de costo de energía está definido como el volumen de control en el cual se evalúan los consumos de energía respecto a la producción. Para la empresa se evaluaron los siguientes centros de costo:

- Consumo de energía eléctrica total vs. Producción.

La medición de energía eléctrica total se toma de los contadores de cada subestación de la empresa prestadora del servicio.

Además todos los indicadores serán presentados y relacionados como (Consumo versus Unidades Producidas) debido a la información e índices que son manejados en la compañía.

Estos análisis son realizados comúnmente con indicadores tales como (Consumo Vs Toneladas Producidas), pero dado que la compañía posee diversas líneas de productos que son manufacturadas en diferentes diámetros y dimensiones, se hace difícil la discriminación de cada producto y determinar su equivalente en kilogramos, por tanto se establece su equivalencia y se analiza con el indicador de Unidades producidas.

En la Figura 3.4 se presenta un diagrama de proceso con los energéticos que se consumen en cada una de las zonas de planta. Se puede observar que el consumo de energía eléctrica en todo el proceso productivo se debe a motores, iluminación, aire comprimido, y enfriamiento de Agua.

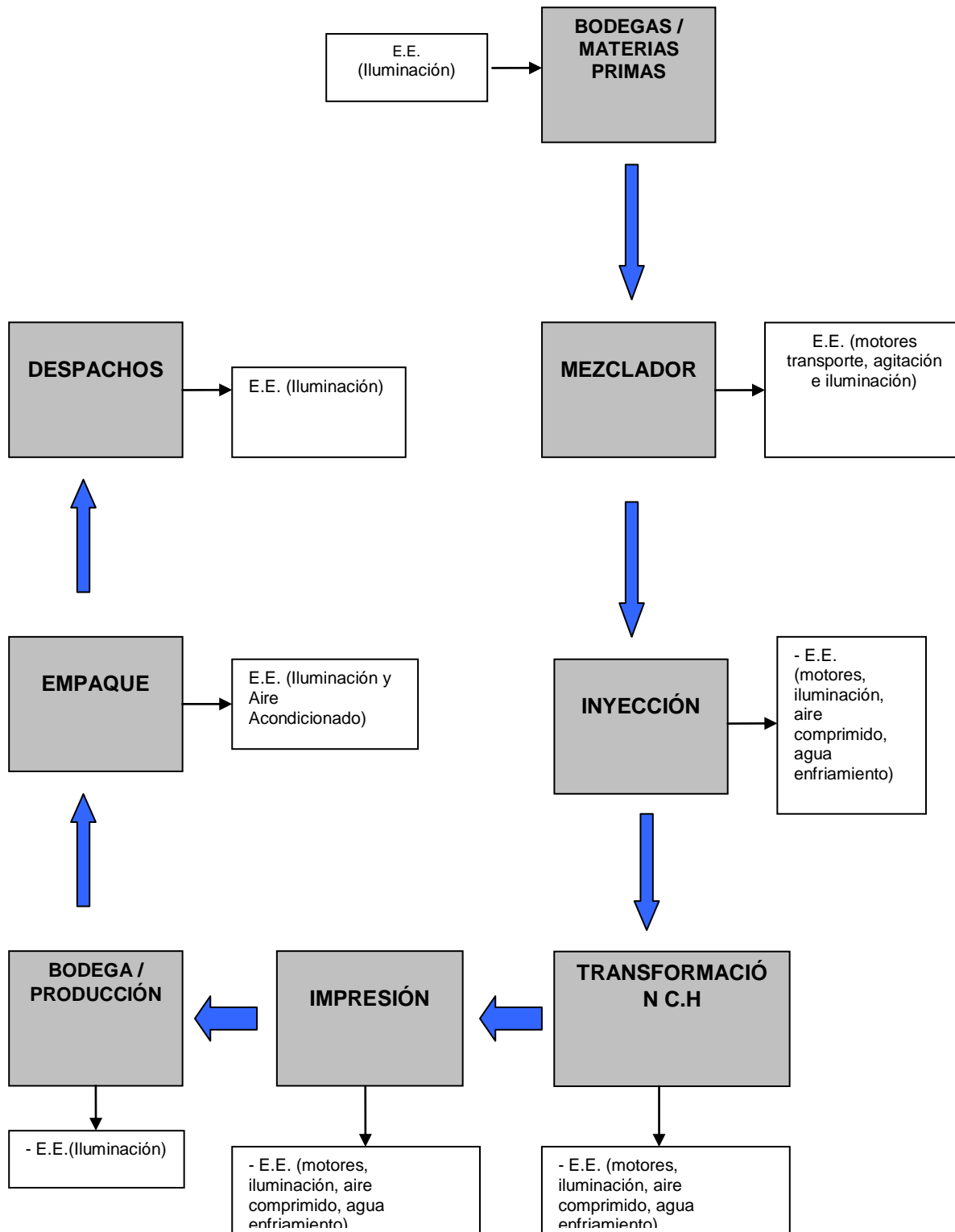


Figura 3.4 Diagrama de Procesos y Energéticos Consumido

En las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se ilustran los consumos mensuales de Energía versus Producción durante el periodo Enero a Diciembre de 2012, correspondiente a las secciones de Inyección, Cuerpos Huecos e Impresión respectivamente.

Nótese que en cada grafica se puede observar las ecuaciones de regresión lineal de todos los datos pertenecientes a estos periodos.

En la Figura 3.5 se establece un entorno en donde la regresión lineal ilustra un comportamiento estable sin mucha dispersión en la información, sin embargo, se tiene una correlación la tenemos por debajo del 60 % con un valor determinado del 30,9 %, lo que indica que hay unos comportamientos relacionados con el control del proceso que se tienen que analizar en la planta.

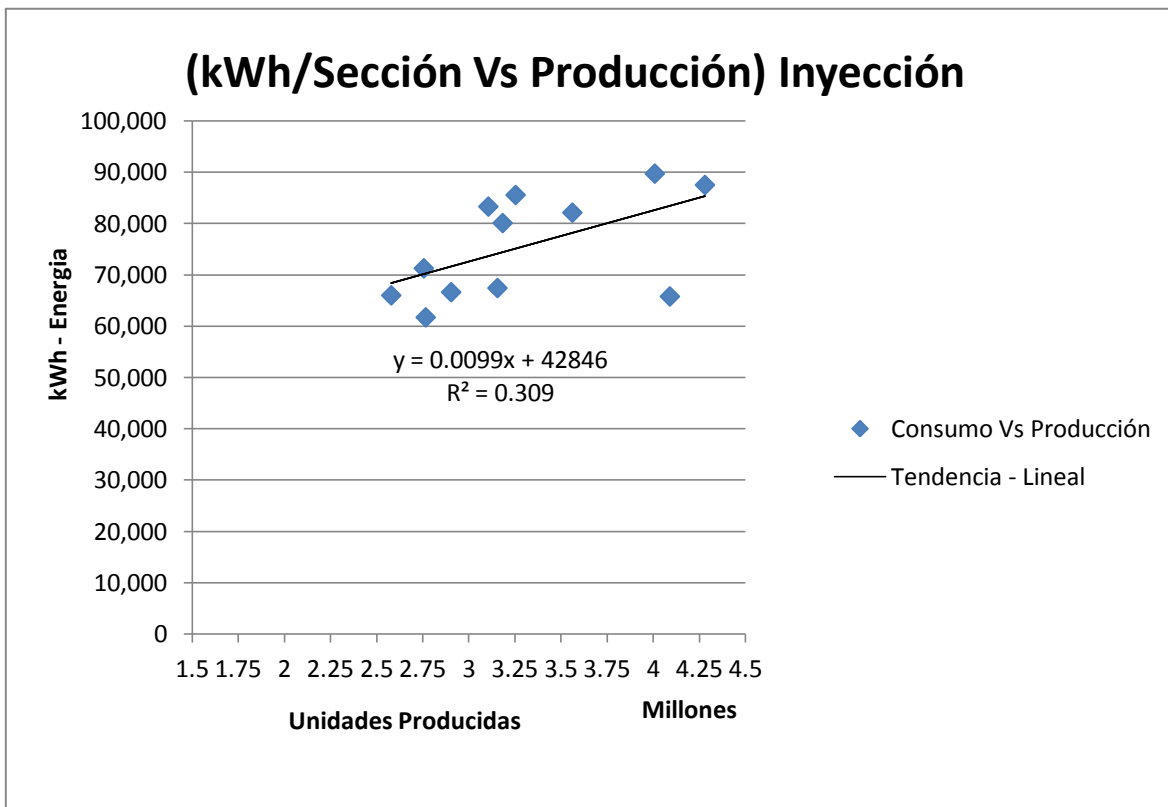


Figura 3.5 Consumo energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Inyección (Ene-Dic 2012)

La ecuación de correlación determina que se están generando consumos de 0,0099 kWh de Energía por Unidad de producto manufacturado al mes.

También se aprecia en la figura 3.5 que la carga base calculada que registra un valor de 42,8 MWh de energía, indicando que se está consumiendo mucho más energía eléctrica en la puesta a punto de maquinaria, ajustes de daños o

imperfecciones de la producción y paros no programados entre otros, que en la energía requerida para la fabricación del producto.

En la Figura 3.6 se establece un entorno en donde la regresión lineal ilustra un comportamiento estable sin tanta dispersión en la información. En esta sección (Soplado) la correlación está por encima del 60% con un valor determinado del 62,7 %, lo que indica que la gestión de energía en esta sección se encuentra bien establecida, pero trabajando en sus valores límites.

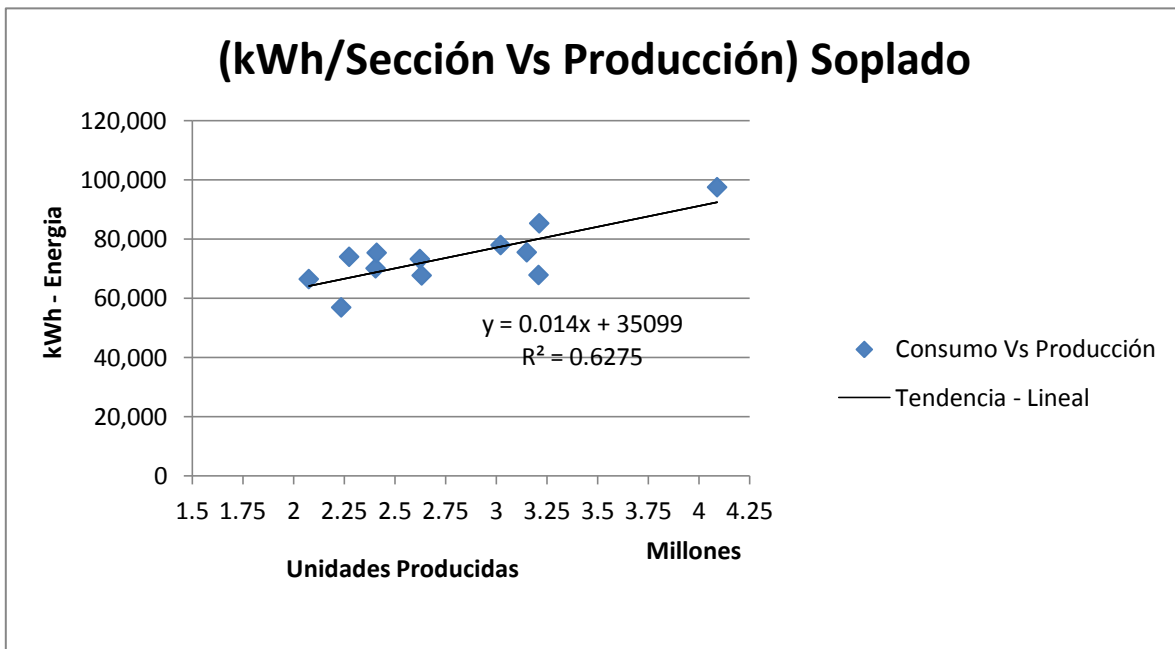


Figura 3.6 Consumo energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Cuerpos Huecos (Ene-Dic 2012)

La ecuación de correlación determina que se están generando consumos de 0,014 kWh de Energía por Unidad de producto manufacturado al mes.

No obstante la carga base calculada registra un valor de 35 MWh de energía, indicando que el consumo de energía eléctrica en la puesta a punto de maquinaria, ajustes de daños o imperfecciones de la producción y paros no programados entre otros, se encuentra elevada, pero no crítica. Por lo tanto se puede mejorar esta carga base y obtener una mejor gestión energética.

En la Figura 3.7 se establece un entorno en donde la regresión lineal ilustra un comportamiento estable sin tanta dispersión en la información, sin embargo la correlación obtenida se encuentra por debajo del 60 % con un valor determinado del 42 %, lo que indica que hay unos comportamientos similares a la sección de Inyección.

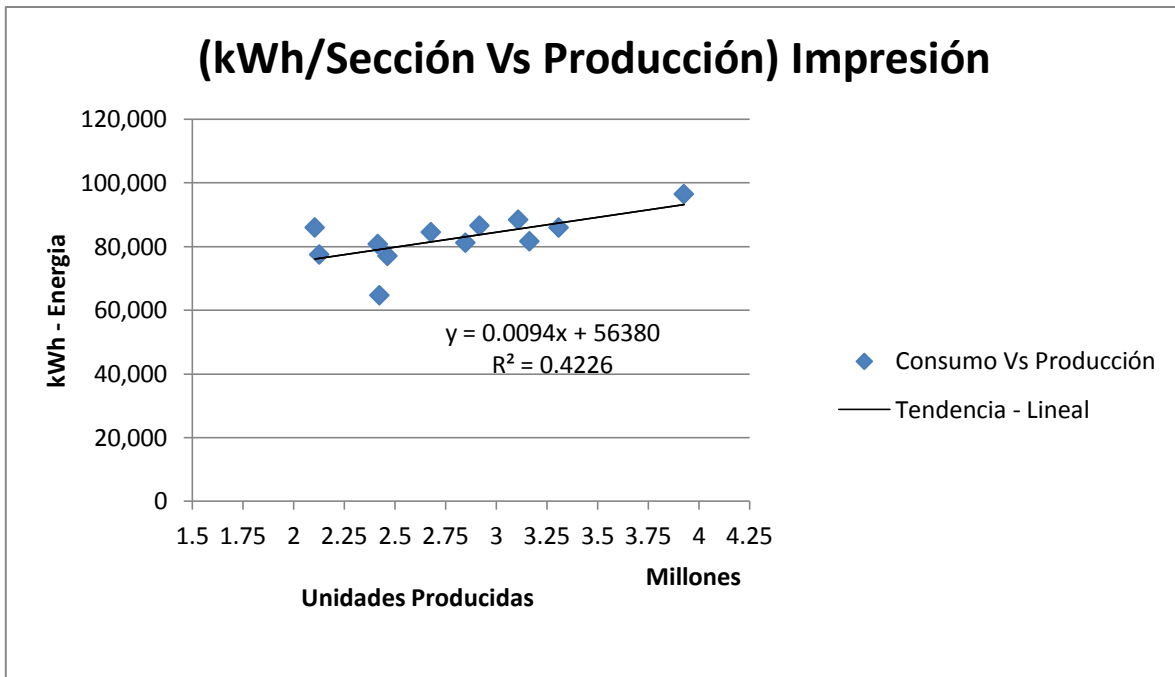


Figura 3.7 Consumo energía vs. Producción – Línea de regresión promedio para Impresión (Ene-Dic 2012)

La ecuación de correlación determina que se generan consumos de 0,0094 kWh de Energía por unidad de producto manufacturado al mes, lo que indica que esta sección es la que menos consumo de energía presenta por unidad producida.

Teniendo en cuenta algunos datos analizados en otras secciones, se establece que la sección de impresión es una de las secciones que más consume energía eléctrica, y el valor de la carga base calculada así lo evidencia, con un registro de 56,3 MWh.

Este comportamiento es similar a la sección de inyección, en donde se consume mucho más energía eléctrica en la puesta a punto de maquinaria, ajustes de daños o imperfecciones de la producción y paros no programados entre otros, que en la energía requerida para la fabricación del producto.

3.3.2 Análisis Energético

El análisis energético se basó en la información de producción (suministrada por el personal de la planta), y en el consumo de energía promedio mensual (kWh) obtenido en la Tabla 3, que contiene las secciones con información histórica de consumos de Energía Eléctrica.

El objetivo primordial es cuantificar el consumo específico de cada línea y ser el punto de partida para un futuro programa de gestión energética (Energy Office, 2013).

En la Tabla 15 se resumen los parámetros obtenidos de la evaluación energética. Tanto la producción como el consumo de energía Eléctrica corresponden al promedio mensual obtenido entre Enero y Diciembre de 2012.

Tabla 15. Análisis energético por Sección

Línea Productiva	Energía (kWh/mes)	Producción (Unidad/mes)	C. E. (kWh/Unidad)	Costo Op. (\$/Unidad) *
Inyección	90.054	2.626.015	0,03	\$ 10,50
Soplado	97.504	2.726.066	0,04	\$ 10,95
Impresión	112.722	2.790.413	0,04	\$ 12,37

* Teniendo en cuenta un costo de la energía de 306,17 \$/kWh.

De la Tabla 15 se concluye que las líneas productivas de inyección y Soplado presentan un mejor consumo específico por unidad, que la línea productiva de Impresión, es decir, requieren menos consumo de energía para producir una unidad de producto.

En relación a los costos operativos, cuesta 6,9 M\$/mes más operar la sección de impresión que la sección de inyección, por otra parte la sección de impresión requiere un costo adicional de 4,6 M\$/mes más que operar la sección de Soplado.

Para lograr obtener un mejor diagnóstico energético, se recomienda continuar con la aplicación de un programa de gestión energética en la planta, y crear conciencia a los operarios sobre la cantidad de energía que se consume por línea de producción. Por ejemplo, crear para cada consumidor principal una medición continua y real del consumo de energía eléctrica vs la producción, de tal manera que, el operario sea consciente de cuanta energía requirió para lo que produjo durante su turno (EnergyOffice, 2013).

De esta manera el operario buscará la forma de reducir el consumo de energía para lograr la misma producción (buscará operar el equipo de forma más eficiente).

La gestión de energía se define entonces como un programa comprensivo que maximiza los beneficios a través de la utilización apropiada de la energía, el cual consta de un control continuo del consumo de energía, de una planeación de la implementación de mejoras para el incremento de la eficiencia energética y de unos elementos básicos para la implementación de la metodología, las cuales dependerán de las características propias de la empresa.

Lo importante es tener en cuenta de que la gestión de energía es algo que se puede realizar a todo nivel, desde lo micro hasta lo macro, obviamente aumentando su complejidad. Para cada grado de complejidad se necesitan diferentes capacidades y destrezas, sin embargo existen elementos comunes tales como el interés en reducir los costos y sacar un provecho adecuado de los recursos disponibles.

CAPITULO 4

4.1. Recomendación del sistema de Enfriamiento

En la industria se usan grandes cantidades de energía en el proceso de enfriamiento, para Formacol S.A esta es utilizada para el enfriamiento de moldes, para darle el acabado y desmolde a la pieza manufacturada.

Para el cálculo y análisis de un sistema eficiente de enfriamiento se requieren variables que no fueron concertadas ni forman parte de este proyecto, como lo son (flujos, caudales, lts transportados, COP, etc), no obstante se establecen porcentajes de ahorro que son estandarizados y se generan estimaciones y recomendaciones que serán de gran aporte para el proyecto y la eficiencia del sistema (UPB *et al.*, 1998).

El sistema de enfriamiento de FORMACOL S.A forma parte de un circuito cerrado, lo que significa que el agua después de ser enfriada, pasa por los intercambiadores de calor (Maquinas - moldes); Teóricamente no es necesaria la reposición de agua pero en la realidad se requiere el uso de pequeñas cantidades. Las cantidades de agua requerida para el enfriamiento varían considerablemente, dependiendo de las temperaturas del agua y del uso particular a que se destine.

Para comprender un poco las variables de refrigeración se hablará del COP, de tal manera que el objetivo principal de las mediciones es determinar el COP del equipo de frío. El COP se define como el cociente entre el calor retirado y la potencia eléctrica consumida; puede entenderse como la eficiencia del enfriamiento e indica cuantas unidades de calor pueden retirarse por cada unidad eléctrica consumida.

El valor del COP depende en gran medida de variables como temperatura del agua helada, temperatura del ambiente y tecnología, mientras menor sea la temperatura buscada en el agua y mayor la temperatura ambiente, menor será el COP. Bajo las condiciones de operación obtenidas en las mediciones podrían esperarse rendimientos entre 4,0 y 6,0.

Un COP inferior a 2,0 es bajo, incluso para ambientes exigentes de frío (temperaturas ambiente altas, o temperaturas de refrigeración por debajo de 0 °C)

e indica que el equipo consume gran cantidad de energía para retirar un flujo pequeño de calor. En estos casos la sustitución tecnológica se hace atractiva y puede evaluarse económicamente (UPB *et al.*, 1998).

Cabe anotar que un COP bajo no necesariamente se debe a problemas internos del equipo; el porcentaje de carga es un factor determinante en la operación de estos sistemas y puede afectar drásticamente el rendimiento.

Para mejorar el sistema de enfriamiento se enuncian las siguientes recomendaciones:

- Modificación del control de la temperatura del sistema disminuyendo el límite superior e inferior del set-point aproximadamente a 1.5 °C o 1 °C dentro de lo posible.
Puesto que este proceso posee un sistema de apagado automático cuando la temperatura de retorno es menor a los 14 °C (aproximadamente) y de encendido cuando es inferior o igual a 20 °C. Este tipo de control es el que hace que el equipo trabaje intermitentemente, lo cual afecta la vida útil del mismo e incrementa los consumos de energía.
- El indicador para establecer las condiciones de bombeo del agua helada a las que está trabajando el equipo se encuentra referenciada por el indicador de GPM de flujo de agua sobre la capacidad en TON del equipo. Los fabricantes recomiendan un indicador cercano a 2,4 GPM/ TON.
- Para lograr una mejor eficiencia, se requiere separar la mezcla del agua de retorno y suministro en el tanque, garantizando un tanque individual para cada uno, como se observa en la Figura 4.1.

Es posible entregarle a la planta agua a una temperatura promedio de 17 °C, permitiendo a los equipos en planta operen con una temperatura de refrigeración 2 °C por debajo de la temperatura actual.

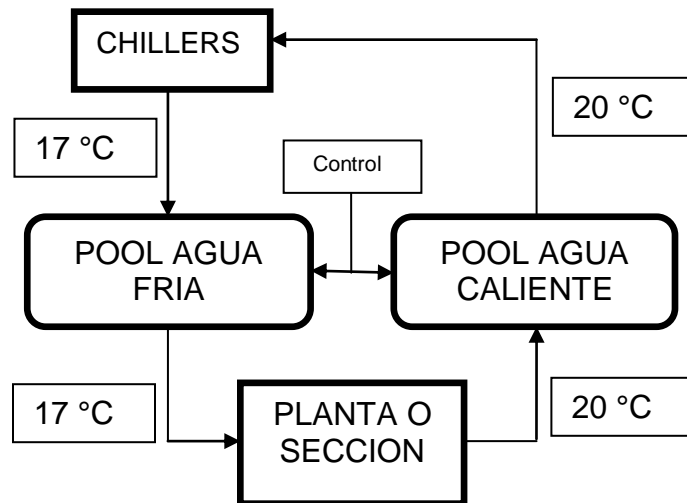


Figura 4.1 Esquema de división de tanques (Pool)

- Con la independización de los tanques se generaría un ahorro que se puede comprobar de dos maneras diferentes. Primero teniendo las curvas del compresor, pero como actualmente no se cuentan con ellas, se considera la segunda opción. Y es que cuando se implemente la separación de los tanques y se mejora la temperatura de suministro del agua, se podría evaluar nuevamente la potencia en la que se obtendría un ahorro. Si se conserva la temperatura de suministro del chiller a 17 °C, **la literatura afirma que puede reducirse el consumo eléctrico de un equipo de frío en 3 % por cada °C que se incremente la temperatura del evaporador (UPB et al., 1998).**

4.2. Recomendación del sistema de Aire Comprimido

Toda la información sobre el sistema de aire comprimido fue tomada del libro de “Guías para el Uso Racional de Energía por Procesos en la Industria” de la UPB y otros (UPB et al., 1998).

El aire comprimido es de vital importancia para un correcto funcionamiento de sistemas neumáticos, de control y electromecánicos, los cuales requieren de condiciones especiales del aire para su adecuada operación (UPB et al., 1998).

Para realizar cálculos, análisis y obtener un sistema eficiente de aire comprimido se requieren variables que no fueron evaluadas ni forman parte de este proyecto de ahorro de energía eléctrica, como lo son (tiempo de compresión y descompresión del sistema de aire, temperatura, humedad, presión barométrica,

etc), no obstante se establecen porcentajes de ahorro que son estandarizados, generando estimaciones y recomendaciones que serán de gran aporte para la eficiencia del sistema.

La disminución del rendimiento de un sistema de aire comprimido puede originarse por cualquiera de tres elementos principales que lo componen: el equipo de producción de aire comprimido, el sistema de distribución y el aire mismo.

Los compresores multietapa ofrecen ventaja sobre los de una sola etapa. Al trabajar con temperaturas más bajas se reduce la formación de depósitos y la necesidad de limpiar las válvulas. Además, se reduce los consumos de energía, por ejemplo, la compresión en dos etapas a 7 bares supone un ahorro de 10 a 15 % en energía sobre una sola etapa.

Otro aspecto importante para el rendimiento del equipo de compresión es el “factor de carga”, especialmente en las instalaciones pequeñas en donde se instala hasta 2 compresores (UPB *et al.*, 1998).

El factor de carga es la relación entre el suministro de aire comprimido real (mientras el compresor está funcionando), y el suministro teórico de diseño a plena carga durante un mismo periodo de tiempo. El factor de carga no debe ser nunca el 100 %, considerando buen criterio seleccionar una instalación con factor de carga entre 50 y 80 % dependiendo del tamaño, tipo y número de unidades incluidas. Las ventajas de usar un factor de carga apropiado son:

- Presión más uniforme, incluso durante los periodos de demanda pico.
- Existencia de un periodo de enfriamiento (muy conveniente para equipos refrigerados por aire).
- Menor mantenimiento.
- Facilidad de incrementar la demanda de aire sin tener que aumentar inmediatamente el tamaño de la instalación.

Para un mejor rendimiento del compresor, el aire aspirado debe de estar limpio y frío.

- Cada 4 °C de aumento de temperatura en el aire aspirado, aumenta el consumo de energía un 1 % para el mismo caudal.
- Cada 3 °C de disminución en la temperatura del aire aspirado, dan lugar a un 1 % mas de aire comprimido para el mismo consumo de energía.

El aire debe aspirarse preferiblemente desde el exterior y la tubería debe ser recta y corta, equipada con filtro de aire. El efecto de una mala instalación se aprecia al considerar que cada 25 mbar de pérdida de carga en la aspiración provoca una reducción de un 2 % en el rendimiento.

Puesto que comprimir aire requiere consumo de energía eléctrica, el perder aire comprimido por fugas y escapes lo que se está perdiendo en realidad es energía eléctrica, teniendo en cuenta los precios actuales, los costos de la energía eléctrica podrían llegar a ser elevados.

Las pérdidas por fugas varían desde un 5 a 10 % en instalaciones bien mantenidas, y hasta un 30 % e incluso un 50 % en instalaciones descuidadas (UPB *et al.*, 1998).

En la Tabla 16 presenta la cantidad de aire que se fuga por orificios de diferente tamaño a distintas presiones.

Presión Man (bar)	Descarga del Aire en Lts/Seg						
	0,5	1	2	3	5	10	12,5
0,5	0,06	0,22	0,92	2,1	5,7	22,8	35,5
1,0	0,08	0,33	0,33	3,0	8,4	33,6	52,5
2,5	0,14	0,58	2,33	5,5	14,6	58,6	91,4
5,0	0,25	0,97	3,92	8,8	24,4	97,5	152
7,0	0,33	1,31	5,19	11,6	32,5	129	202

Tabla 16. Descarga de aire a través de un orificio (diámetro en mm)

Los puntos de fuga más frecuentes son:

- Válvulas de seguridad de los depósitos acumuladores.
- Junta de tuberías y mangueras.
- Válvulas de cortes que hacen mal cierre.
- Acoples rápidos.
- Equipos.

En general, la magnitud de las fugas se obtiene midiendo la cantidad de aire suministrado por los compresores para mantener la presión normal cuando no existe consumo de aire. La cuantía de las fugas puede hacerse siguiendo la siguiente metodología:

- Cerrar los consumos de todos los equipos.
- Llevar los depósitos de aire hasta la presión de trabajo.
- Apagar los compresores.
- Medir el tiempo que tardan los depósitos en bajar hasta una presión determinada.

El cálculo puede obtenerse a partir de la expresión

$$qt = \frac{V \cdot 293}{t \cdot T} (P1 - P2), \quad (2)$$

en donde:

qt = Caudal fugado en $\frac{Nm^3}{min}$.

V = Volumen de los tanques en m^3 .

t = tiempo de duración de prueba de min.

$P1$ = presión inicial (bar absolutos)

$P2$ = presión final (bar absolutos)

T = temperatura medida en el aire en °k.

Al comprimir el aire su temperatura aumenta, lo que exige un enfriamiento para mantener dentro de los límites de diseño la temperatura de trabajo del compresor. Esta refrigeración se realiza después de cada etapa de compresión, mediante refrigeradores intermedios o posteriores.

En conjunto puede decirse que aproximadamente un 94 % de la energía consumida en un compresor se transforma en calor recuperable. Únicamente un 6 % permanece en el aire comprimido o pasa a la sala de compresores.

Conocidos los conceptos, se plantean algunas recomendaciones para mejorar la eficiencia del sistema instalado de aire comprimido.

- Instalar depósitos de aire o tanque pulmón, estos sirven para igualar las variaciones de presión en la red de aire y evitar ciclos de carga y descarga en el compresor demasiados cortos. Otra función de los tanques pulmón, es servir como drenajes para el condensado y residuos de aceite.
- Se recomiendan drenaje de condensación sin pérdida de aire comprimido para eliminar la descarga de aire comprimido a la atmósfera, los cuales son más confiables que los drenajes tradicionales de tipo solenoide o flotador. En el mercado existen purgadores que no utilizan aire, son de gran eficiencia y además son silenciosos puesto que no expulsan aire.
- En las purgas de tanque pulmón, en compresores y secadores, instalar trampas de purgas automáticas, las cuales no hacen uso de aire comprimido para evacuar el condensado.

Con lo anterior se obtiene un ahorro de energía del 0,5 % al año. Cada 3 °C de disminución en la temperatura de aire aspirado, da lugar a 1 % más de aire comprimido para el mismo consumo de energía.

- Para un mejor rendimiento del compresor, el aire aspirado debe estar limpio, la presencia de polvo ocasiona obstrucción en los filtros de succión. Una caída de presión de 25 mbar (10 in H_2O en la aspiración provoca una reducción del 2 % en el rendimiento).

- Se deben disponer de drenajes en puntos de la línea mínimo cada 50 metros para retirar los condensados remanentes en la tubería.
- Para que el sistema sea optimo se recomienda que la red cumpla el siguiente orden de generación: Compresores – Tanque pulmón húmedo – Secadores – Tanque pulmón seco – Red de distribución.

4.3. Recomendación del Sistema Eléctrico

Es importante destacar que el ahorro energético es una variable importante que debe ser analizada, y desde este análisis, encontrar la forma de reducir los costos de la compañía.

El sistema eléctrico se evaluó analizando por sectores influyentes en los consumos de energía. Luego del análisis se estimaron recomendaciones que representaran ahorros potenciales.

En la Tabla 6 se establecen recomendaciones y sus respectivos costos de operación.

De igual manera en la Tabla 8 se establecen recomendaciones para mejorar el factor de potencia y el ahorro que se obtiene para al sistema eléctrico.

4.4. Recomendación de los Motores Eléctricos

En el anexo (Motores de alta eficiencia) y en la Tabla 13 se presenta los resultados de la evaluación técnico económico para la sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia.

Para el motor actual, se especifica el nombre con el que es identificado en la instalación, la potencia nominal, el factor de carga medido, su eficiencia promedio y su costo de operación anual.

Para el motor de alta eficiencia, se especifica su marca, su referencia, la potencia nominal, el precio, el factor de carga medido y su costo de operación anual.

Respecto a los resultados de la evaluación financiera, los indicadores que se presentan son el ahorro anual por operación y los TRI (tiempos de recuperación de la inversión).

Aunque la decisión de efectuar o no la sustitución dependen de factores externos al proyecto, un buen indicador de cuando es conveniente realizar la sustitución del motor es que el TRI sea inferior a tres años por motor.

Los motores que tienen TRI superiores a tres años, pueden disminuir este tiempo en la medida en que el nuevo motor trabaje más horas promedio a futuro.

Adicionalmente se indago sobre la implementación de variadores de frecuencia en los motores, y se encontraron referencias con ahorros potenciales del 30 %, pero

dada la poca información suministrada y la falta de verificación de los datos, se determinó que para constatar este potencial de ahorro se puede instalar un variador de frecuencia en uno de los motores y posteriormente realizar las nuevas mediciones, a fin de determinar consumos y confirmar el ahorro. No obstante este proceso se debe realizar directamente con una de las empresas distribuidoras de estos dispositivos y contratar el servicio de instalación.

4.5. Recomendación Del Sistema De Iluminación

El sistema de iluminación, a pesar de no ser tan extenso, se comprobó que es un sector un sector importante, en donde es factible potencializar un gran ahorro. Este sistema corresponde a un 29,6 % del total del consumo/mes de la planta, no obstante, cualquier implementación que se desarrolle será significativo para el ahorro de energía en la misma.

En la Tabla 10 (“Sustitución y recomendaciones en la iluminaria de la planta”, Capítulo 2), se presenta los costos de operación generados por esta recomendación, además describe el costo de la inversión que es requerido para la actualización de la luminaria y los ahorros que se obtendrían.

4.6. Recomendación de Gestión Energética

Para lograr un control real sobre el consumo específico en las líneas de producción y mejorar la operación del sistema de información de la planta es importante que FORMACOL S.A implemente el sistema de Gestión Energética enunciado en el Capítulo 3, basados en la norma ISO 50001, de igual manera se recomienda tener presente los siguientes aspectos (Serna, 2010).

- Calibración y revisión del estado de medidores.
- Medición del consumo y producción por líneas productivas en tiempo real y de forma periódica (cada día).
- Cuantificar la producción, no sólo por días, sino por tipo de productos.
- Para el mismo período de muestreo cuantificar el consumo de energía (kWh/período) y la producción (Unidades/período) para determinar de forma certera el consumo específico por líneas (kWh/unidades).
- Una vez detectados los desperdicios de energía, tomar acciones tendientes a disminuir los consumos de energía en aquellas líneas con un alto consumo específico.
- Mejorar el rendimiento o eficiencia de los equipos macro consumidores de energía que operan en las líneas.

- Desconectar equipos que trabajan en vacío durante los tiempos muertos, para lo cual es fundamental conocer la forma de operar cada línea.

Si se desea implementar un sistema diferente para el análisis de información es importante considerar la implementación de un software especializado en gestión por monitoreo y objetivos, todos ellos con más o menos el mismo nivel de complejidad y que generan reportes bastante similares. Entre todas estas posibilidades se recomienda un software que presente las siguientes características básicas:

- Amigable a los diferentes usuarios (operarios).
- Permita la creación de medidores virtuales. Esto permite lograr mediciones sumas o diferencias entre diferentes medidores.
- Permita manipular diferentes unidades de energía y costos.
- Que posea memoria de eventos.
- Presente facilidad para introducir o eliminar CCE.
- Que sea multiusuario.
- Que permita generar los reportes técnicos y económicos.

5. CONCLUSION

El presente proyecto se ejecutó bajo el modelo de trabajo de grado para ingeniería, enfocado al sector industrial y particularmente para la empresa FORMACOL S.A. Se dieron a conocer los posibles cambios y alternativas que deben ejecutarse para alcanzar una gestión integral de energéticos "GIE"; además se recomienda la forma adecuada de los procedimientos que se deben implementar para efectuar diagnósticos energéticos, establecer los potenciales de racionalización e identificar las medidas que deben adoptarse para que la energía se use de forma eficiente sin detrimento de la producción y del medio ambiente.

En el sistema de transformadores se encontró un ahorro potencial de 20,2 M\$/año, con el desplazamiento de la sección de Serigrafía como nueva carga a la sección de Inyección y el desplazamiento de la sección de Taller como nueva carga a la sección de Soplado, este ahorro se debe al cambio de facturación de energía, puesto que en su anterior localidad se facturaron en el mercado Regulado y con el desplazamiento comenzaran a facturar en el mercado No Regulado, en donde los precios son negociables y más económicos en relación al mercado regulado.

En el sistema de Iluminación se puede lograr una disminución del consumo de energía de 22.678 kWh/año, representado en un ahorro de 34,67 M\$/año, para lo cual se recomienda sustituir las lámparas T-12 de 75 Watts por T-8 de 32 Watts además de cambiarse los viejos balastos eléctricos por los nuevos electrónicos. El costo de la inversión es de aproximadamente 19,01 M\$, para un tiempo de recuperación de la inversión de 0,55 años (6,7 meses).

En la sección de motores, al realizar el cambio de motores estándar por motores de alta eficiencia, se puede lograr una reducción de consumo de energía de 7,3 MWh/año, lo cual representa un ahorro de 2,2 M\$/año. La inversión requerida para esta propuesta es de 16 M\$ y el TRI (tiempo de recuperación de la inversión) es de 7,2 años.

Para concluir y con el fin de brindar soluciones productivas y evitar que la falta de información conlleve a prácticas erróneas, FORMACOL S,A debe atreves del plan de análisis y diagnostico energético, conocer muy bien su proceso y comenzar a monitorear nuevas variables de diagnóstico que le permitan saber con qué eficiencia consume la energía en sus instalaciones.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDI., EPM. & UPB. (1998). *Guías para el uso racional de energía por procesos en la industria*. Segunda edición 1998. Impreso en Medellín – Colombia, ISBN 958-800-032-8

EnergyOffice. (2013). *Gestion de la Energia*. Recuperado el 13 de Feb de 2013, de Energyoffice.org : <http://www.energyoffice.org/spain/tools/emanagement/definition/main.html>

Moliner, J. (2010). *Contribucion de los variadores de frecuencia al ahorro energetico*. Recuperado el 14 de Abr de 2010, de InterEmpresas.net: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/39497-Contribucion-de-los-variadores-de-frecuencia-al-ahorro-energetico.html>

Moliner, J. (2011). *Ahorro energético en empresas de inyección de plástico*. Recuperado el 06 de Abr de 2011, de InterEmpresas.net : <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/50563-Ahorro-energetico-en-empresas-de-inyeccion-de-plastico.html>

Ppi. (2012). *¿Que es la inyección de plásticos?*. Recuperado el 13 de Dic de 2012, de ppi.com.mx® Copyright 2008-2013/ All rights reserved: <http://www.ppi.com.mx/Articulos-informativos/que-es-la-inyeccion-de-plasticos.html>

Scribd. (2008). *Motores Especiale y de Alta Eficiencia*. Recuperado el 06 de May de 2008, de © Copyright 2013 Scribd Inc: <http://es.scribd.com/doc/3236506/Motores-especiales-y-de-alta-eficiencia>

UPB. (2013). *Instituto de Energía y Termodinámica*. Recuperado el 13 de Feb de 2013, de ©Copyright 2008 UPB ®Todos los Derechos Reservados: http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=1054,32576089&_dad=portal&_schema=PORTAL

U.S.Department of Energy. (2011). *MotorMaster International*. Recuperado en Ago de 2011, de Advanced Manufacturing Office : http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/software_motormaster_intl.html

Serna, Carlos. A. (2010). *Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía*, artículo aprobado el 17 de Dic de 2010. Recuperado el 15 de Mar de 2013: <http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol5n2/107-126.pdf>

Variadores S.A. (2012). *Variadores de Velocidad*. Recuperado el 13 de Dic de 2012 , de Variadores S,A : <http://www.variadores.com.co/index.php/productos/variadores>

IEMMA, UPB. (2010). Instituto de Energía y Termodinámica. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de Análisis energético tipo revisión experto sistema eléctrico.

7. ANEXOS