

CAPÍTULO V

AUDITORIA DETALLADA

El paso a seguir a la auditoria preliminar para la implementación de un programa de conservación energética es la auditoria detallada, ésta consiste en la recopilación de información mediante mediciones instrumentadas a los diferentes sistemas o equipos de una instalación industrial, así como también en base entrevistas y diálogos con el personal que opera en la planta, seguido de un análisis detallado de la situación energética de la planta.

La Auditoria Preliminar precede y encamina siempre a una auditoria detallada, en esta parte de la auditoria se evalúan las condiciones de operación de la planta y los métodos de operación alternativos.

Durante la auditoria detallada se efectúan pruebas de eficiencia, medición de temperaturas de los equipos y control de operación de los procesos de acuerdo con las especificaciones.

No siempre, como parte de una auditoria detallada se podrán recomendar inversiones específicas debido a la magnitud o al riesgo que éstas generan, de este modo se llevan a cabo estudios de factibilidad técnica y económica específicos.

La auditoria detallada queda concluida con la elaboración y entrega de un informe con los resultados y recomendaciones del estudio. A partir de este punto, la gerencia de la empresa es la principal responsable de la ejecución o no de las alternativas encaminadas al uso racional de la energía.

5.1 Objetivos

5.1.1 Objetivo General

Conocer el estado actual de los equipos, la capacidad instalada real, lo que permitirá identificar posibles soluciones para minimizar los costos de consumo de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los procesos y mejorar su eficiencia, además que ayude a identificar a los equipos que no estén funcionando de una manera eficiente y que de ser necesario deben ser reemplazados.

5.1.2 Objetivos específicos

Para el desarrollo del presente proyecto se ha planteado los siguientes objetivos:

- Obtener un conocimiento real del consumo de energía en las instalaciones de la planta.
- Obtener parámetros que midan la eficiencia en el consumo de energía.
- Evaluar y cuantificar en términos económicos de rentabilidad las posibles medidas para reducir los consumos de energía y ser más eficientes.
- Desarrollar un informe completo sobre la situación actual, medidas correctoras posibles y viabilidad de cada una de ellas.
- Conseguir una mayor eficiencia del consumo de energía después de adoptar las medidas propuestas.
- Reducir los costos energéticos en la empresa.
- Mejorar la competitividad de la empresa respecto a otras del sector.
- Ahorrar, optimizando los consumos y consecuentemente reduciendo costos energéticos.
- Estudiar y seleccionar las alternativas.
- Plantear la alternativa más viable para el ahorro de consumo eléctrico de la planta.

5.2 Información de sistemas y/o equipos de mayor consumo energético

5.2.1 Planta 1

La Planta 1, tiene principalmente los procesos de inyección, soplado convencional, soplado biorientado, soplado PET, además de estos procesos también posee equipos auxiliares como son los compresores, chillers y torre de enfriamiento, además de molinos para producto defectuoso que será reprocesado para evitar desperdicios de materia prima.

La figura No. 5.1 muestra el consumo real medido por procesos de producción para la planta No 1. Las tablas 4.1.18 (inyección), 4.2.10 (soplado convencional), 4.3.4 (soplado biorientado), 4.4.3 (soplado PET) y 4.5.9 con 4.6.8 (eq. Auxiliares) del anexo No 4 dan como resultado la figura 5.1, éstas tablas presentan un resumen de los datos que se obtuvo para cada equipo en cada proceso de producción, el total de la columna indicada con KW-h de cada tabla es el valor que se toma para la figura 5.1.

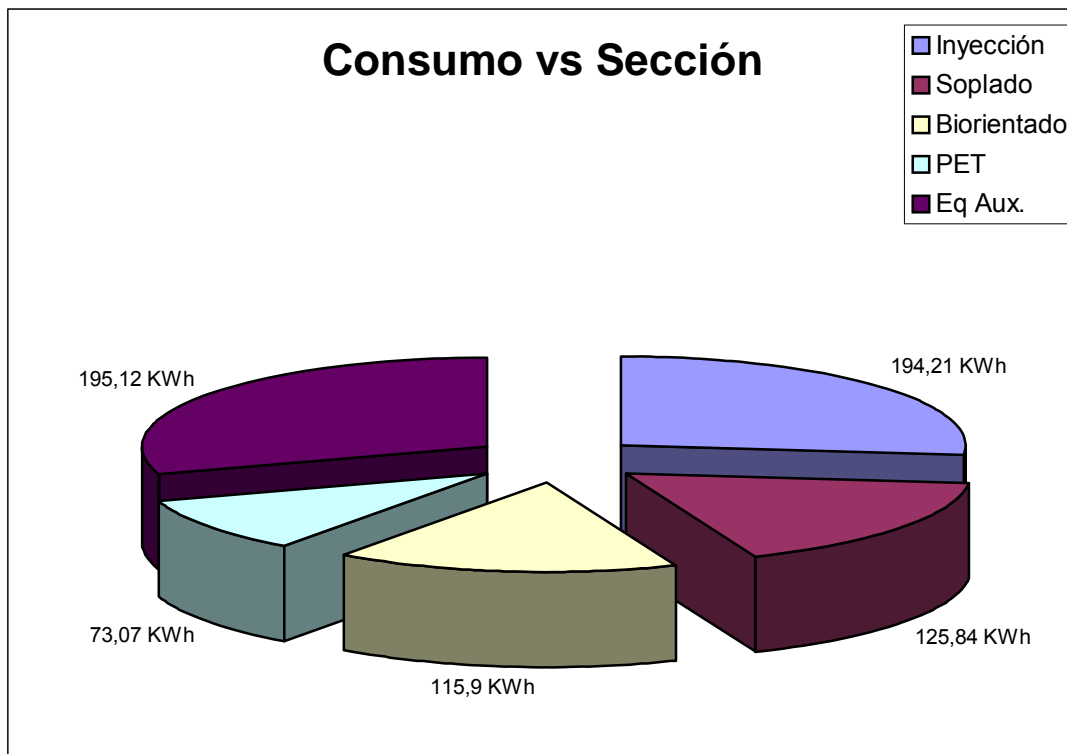


Figura No. 5.1 Consumo energético (en 1 hora) por procesos de producción

Las tablas que dieron origen a la figura 5.1 representan un resumen de los parámetros medidos en cada equipo para cada proceso de producción en la planta No 1, en el anexo No 4 se puede encontrar los datos obtenidos para cada equipo de la planta No 1 y fueron conseguidos por medición mediante un analizador de redes que arrojó los parámetros que se tiene en las tablas del anexo No 4, una explicación más detallada de esta tabla se la encuentra en el anexo No 1 donde está la explicación del formulario para la auditoría¹.

La figura No. 5.2 muestra, dentro de la sección de inyección, el consumo en KW-h que realiza cada equipo, en el anexo 4, de la tabla 4.1.1 a la 4.1.17 se detalla los consumos y datos que se obtuvo para cada máquina, la tabla 4.1.18 del anexo 4 resume los valores de toda la sección del proceso de inyección y sirvió para la elaboración de la figura 5.2.

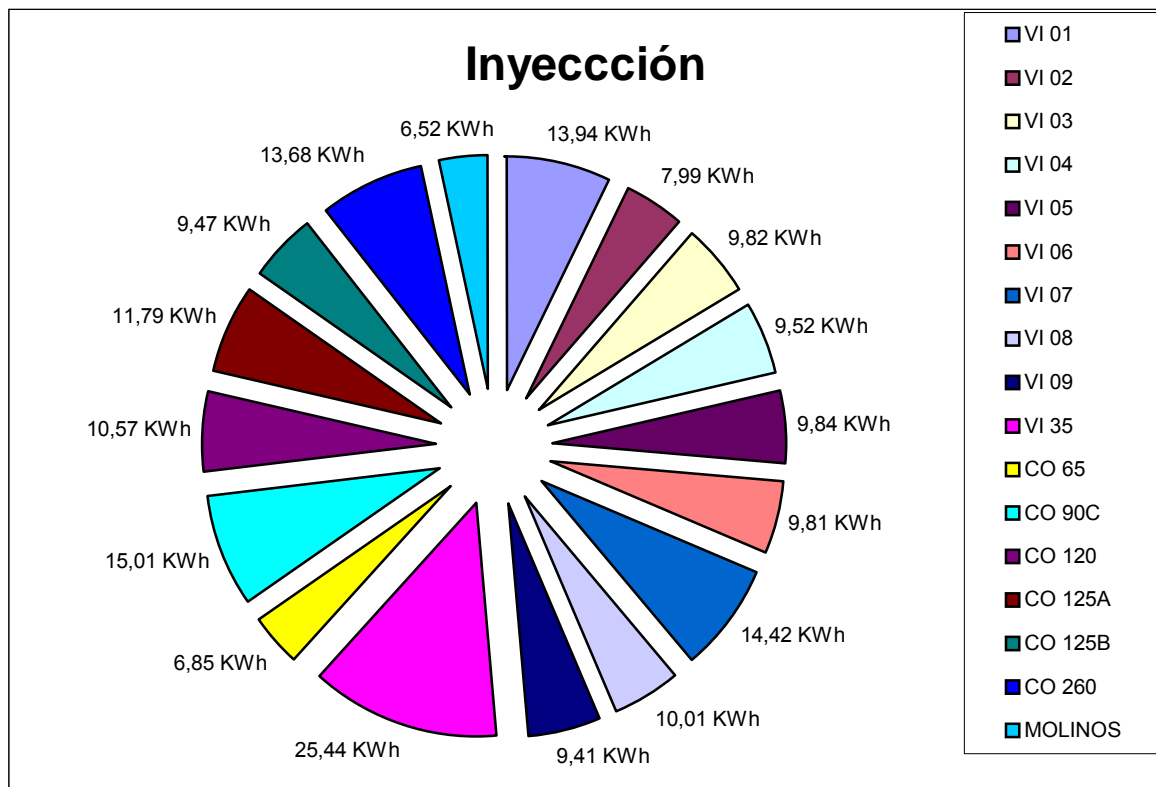


Figura No. 5.2 Consumo Energético (en 1 hora) – Inyección

La figura No. 5.3 muestra el consumo real en KW-h que realiza cada equipo en la sección de soplado convencional, las tablas 4.2.1 a la 4.2.9 del Anexo 4, detallan los datos de consumo de energía de los equipos de esta

¹ Pág. 149

sección, la tabla 4.2.10 muestra una recopilación de los valores de las tablas del anexo No 4 para esta sección, la cual facilita la elaboración de la figura 5.3.

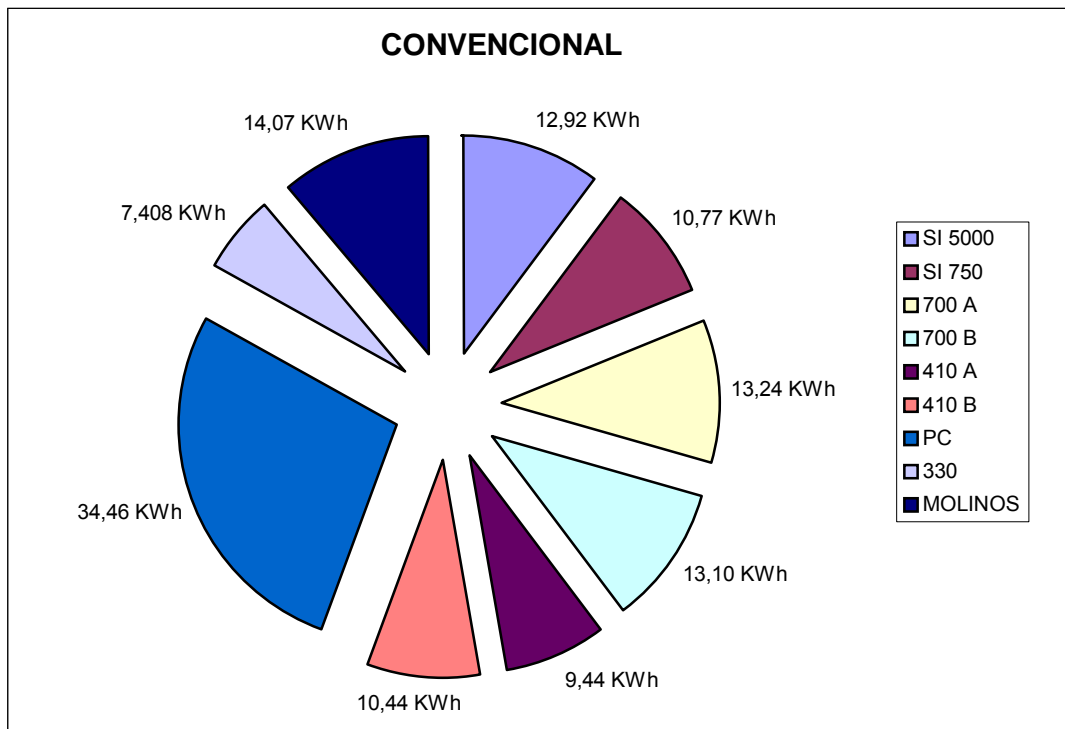


Figura No. 5.3 Consumo Energético (en 1 hora) – Soplado Convencional

La figura No. 5.4 da a conocer el consumo energético real en KW-h en la sección de soplado biorientado, las tablas 4.3.1 a la 4.3.3 del anexo 4 detallan los datos de consumo que se recopiló durante las mediciones realizadas, la tabla 4.3.4 del anexo No 4 resume los datos de esta sección.

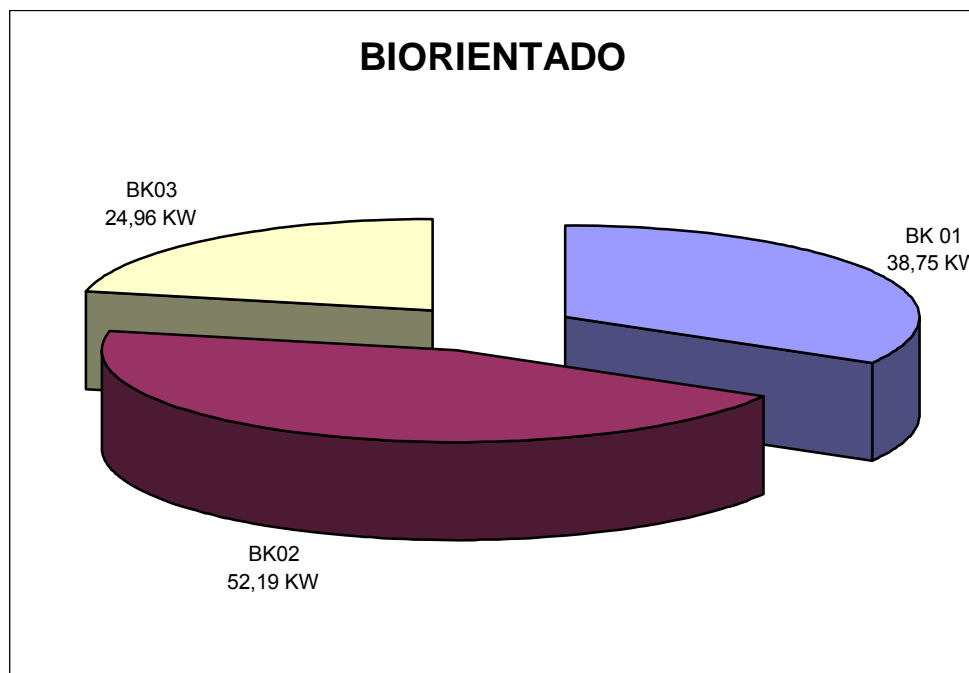


Figura No. 5.4 Consumo Energético (en 1 hora) – Soplado Biorientado

La figura No. 5.5, muestra el consumo real medido en KW-h para los equipos de la sección de soplado PET, en las tablas 4.4.1 y 4.4.2 del anexo 4, se detalla los consumos de las máquinas de esta sección, la tabla 4.4.3 del anexo No 4 resume los parámetros de los equipos de esta sección que sirvieron para la elaboración de la figura 5.5.

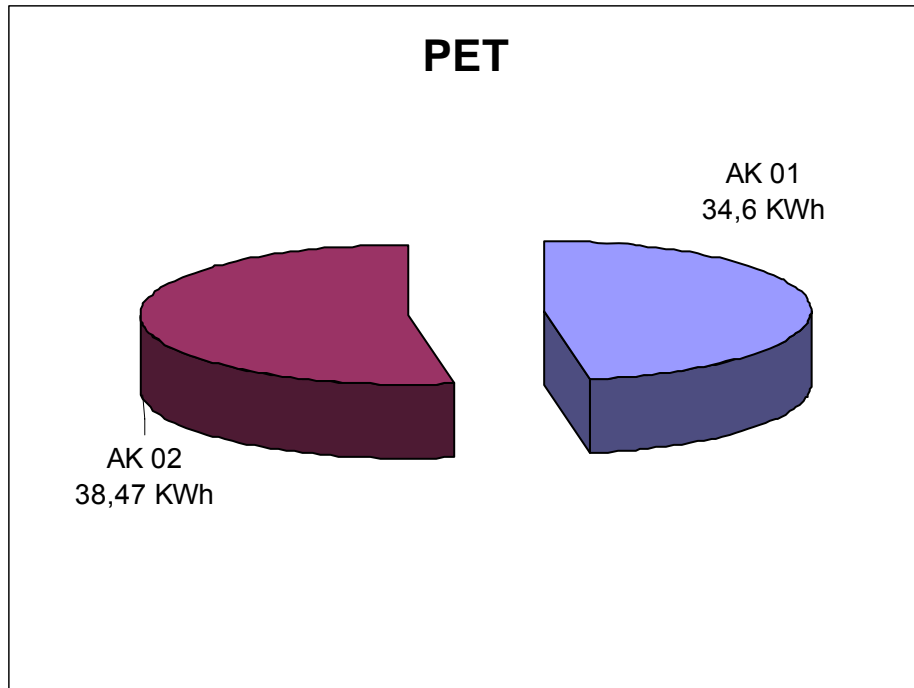


Figura No. 5.5 Consumo Energético (en 1 hora) – Soplado PET

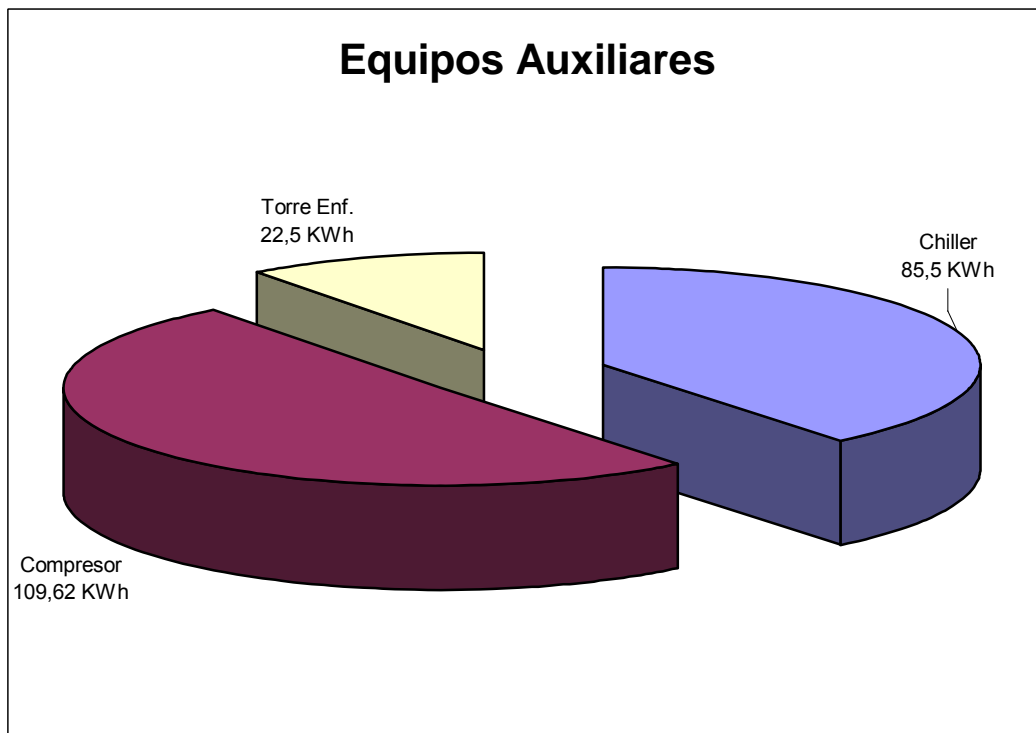


Figura No. 5.6 Consumo energético (en 1 hora) - Equipos Auxiliares

Las Figuras No. 5.7 y 5.8 muestran la distribución de consumo energético para los compresores y chillers en KW-h, en el anexo 4, las tablas de la 4.5.1 a la 4.5.8 se detallan los datos de consumo para los compresores y desde la 4.6.1 a la 4.6.7 se detalla los consumos para los chillers. Las tablas 4.5.9 y 4.6.8 del anexo No 4 resumen los datos por secciones de estos equipos y dan origen a las figuras 5.6, 5.7 y 5.8.

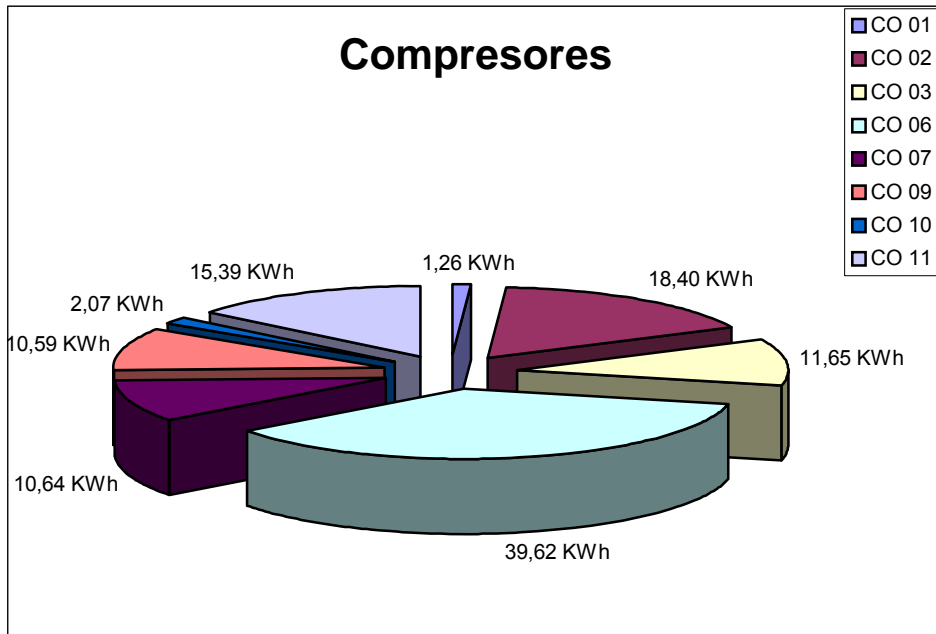


Figura No. 5.7 Consumo Energético (en 1 hora) – Compresores

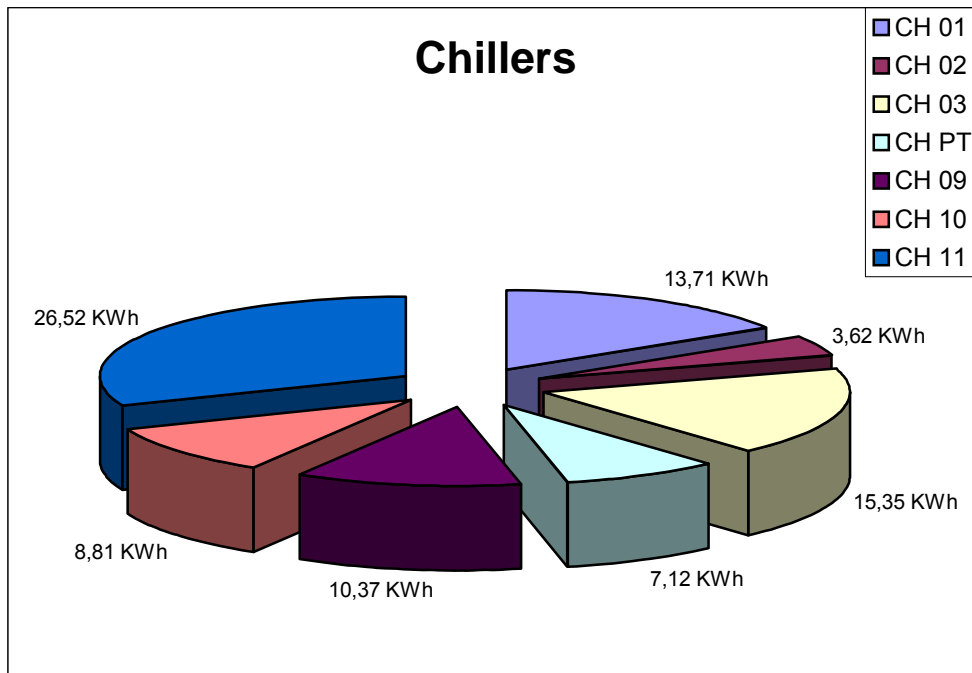


Figura No. 5.8 Consumo Energético (en 1 hora) – Chillers

5.2.2 Planta 2

En la Planta No. 2 se realiza los procesos de extrusión e impresión, además de los de inyección y soplado PET, sin dejar a un lado los equipos auxiliares que se ha venido mencionando.

Las figuras 5.9 a la 5.16 fueron elaboradas con el mismo criterio con las que se realizó para la planta No 1 (figs. 5.1 a 5.8), utilizando los mismos instrumentos y procedimientos para la toma de datos, estos valores se muestran en el anexo No 5. La figura No. 5.9 muestra el consumo en KW-h de la planta No 2 dividido por procesos de producción, con esto se puede identificar que proceso es el que demanda mayor consumo energético, y dentro de éste verificar los equipos que requieren un análisis detallado. Las tablas 5.1.9 (Inyección), 5.2.6 (Extrusión), 5.3.3 (Impresión), 5.4.5 (Soplado) y 5.5.12 (Eq. Auxiliares) del anexo No 5, muestran un resumen de los datos que se recopiló para cada equipo en cada sección de producción, y dieron origen a la figura 5.9

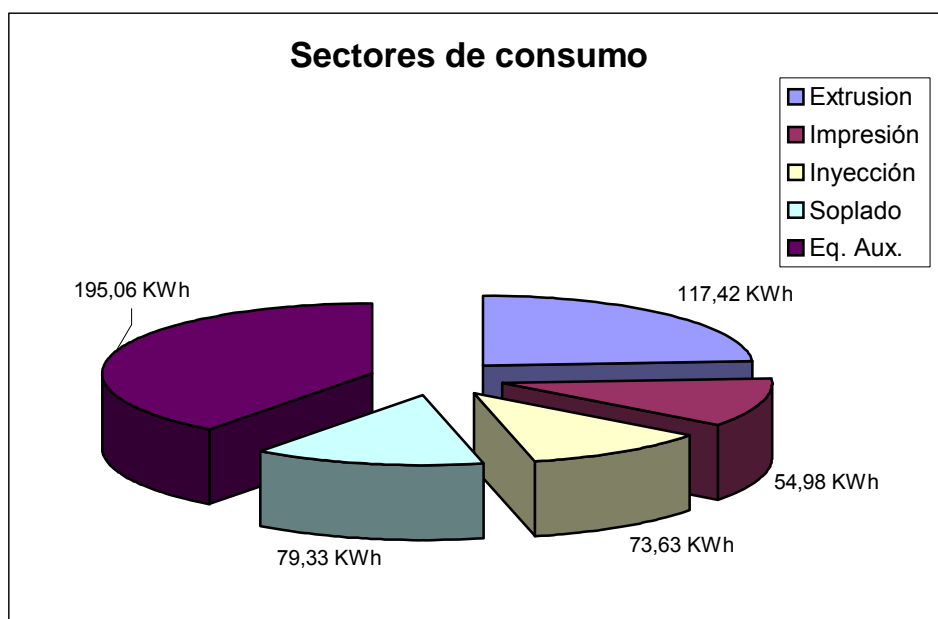


Figura No. 5.9 Distribución de consumo (en 1 hora) por sectores

La figura No. 5.10 el consumo en KW-h en la sección de inyección, en las tablas 5.1.1 y 5.1.2 del anexo No 5, se detallan los datos que se recopiló para los equipos de esta sección, la tabla 5.1.9 resume éstos valores de esta sección y da lugar a la figura 5.10.

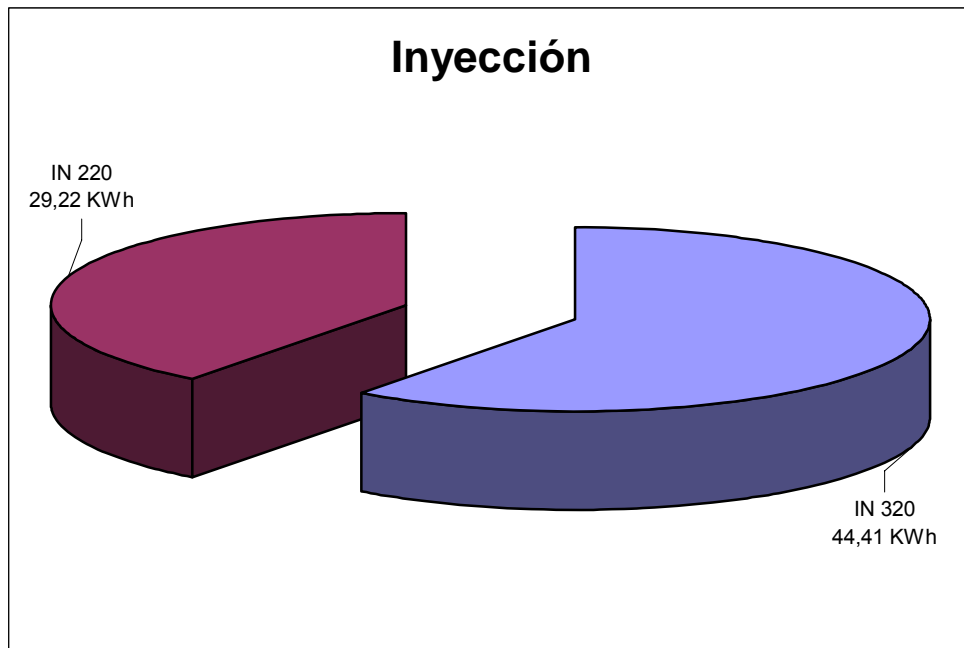


Figura No. 5.10 Consumo Energético (en 1 hora) – Inyección

Para optimizar el proceso y tener un mejor producto al final del mismo, cada inyectora tiene equipos adicionales para el transporte y secado de materia prima antes del ingreso a la tolva, el detalle de consumo de estos equipos se muestra en las tablas 5.1.3 a la 5.1.8 del Anexo No. 5.

La sección de extrusión tiene 5 equipos, destinados a la elaboración de plástico continuo, el cual después será complementado con el proceso de impresión para sus diferentes usos, la EX 02 es una máquina de avanzada tecnología y es la que más produce, además la extrusora No. 5 es exclusiva para el proceso de PVC, en la figura No. 5.11 se muestra el consumo en KW-h para esta sección, los datos detallados se muestran en las tablas del anexo No. 5 desde la 5.2.1 a la 5.2.5, en la tabla 5.2.6 del anexo No 5 se puede observar un resumen de los datos obtenidos para los equipos de esta sección, la figura 5.11 fue elaborada en base a dichos datos.

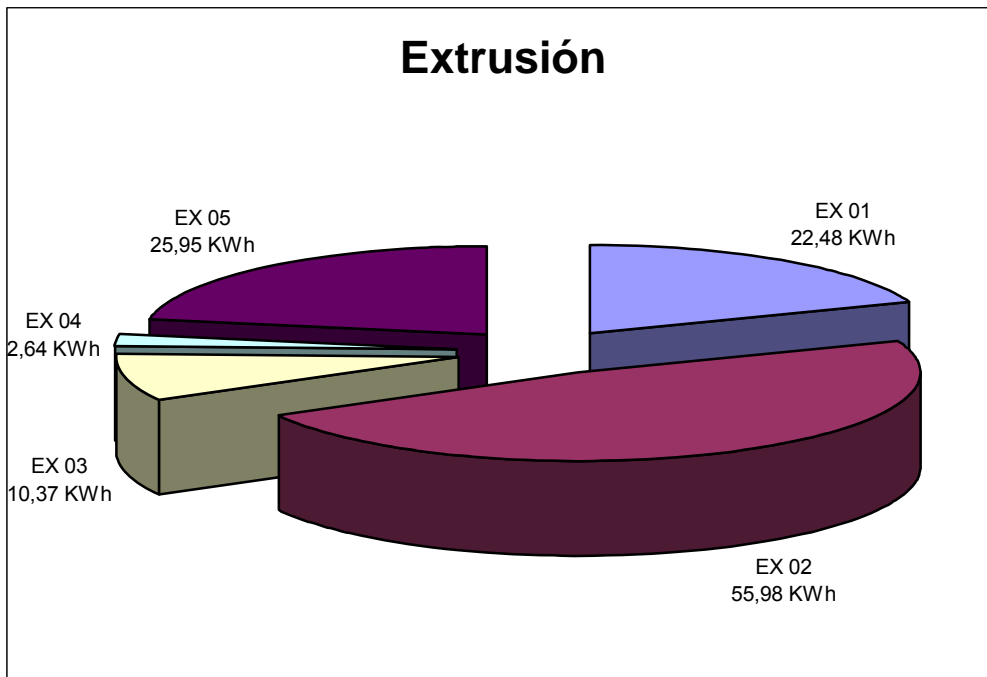


Figura No. 5.11 Consumo Energético (en 1 hora) – Extrusión

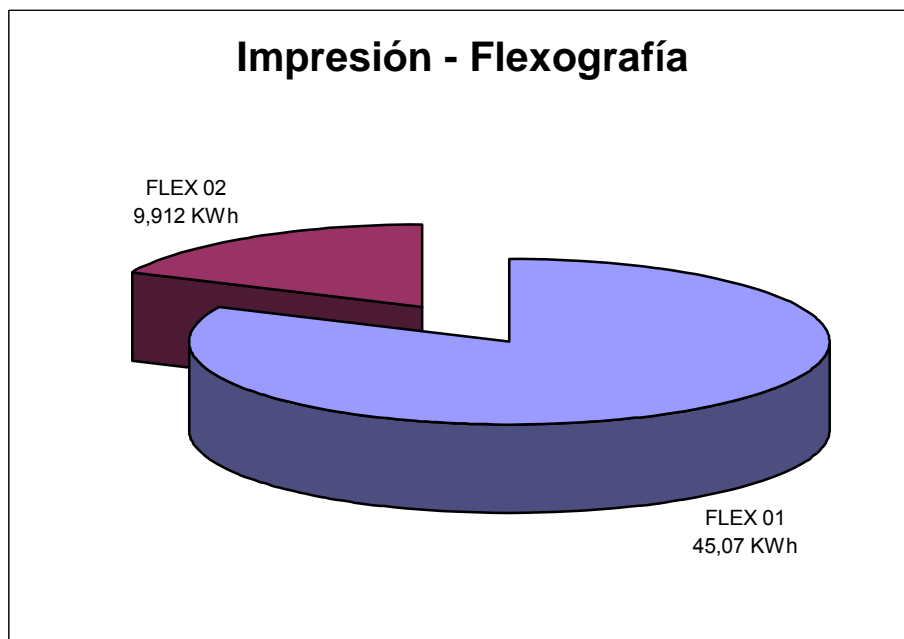


Figura No. 5.12 Consumo Energético (en 1 hora) – Impresión

La Figura No. 5.12 muestra el consumo en KW-h en el área de impresión o flexografía, en esta sección existen únicamente dos equipos, los datos detallados se muestran en las tablas 5.3.1 y 5.3.2 del anexo No. 5 y son los que dan como resultado la figura 5.12.

El área de soplado se encuentra identificado por tres equipos, que se dedican básicamente a la producción de botellas de diferentes capacidades, es así, que la figura No. 5.13 muestra los consumos en KW-h dentro de esta sección por cada equipo, en el anexo No. 5 las tablas desde la 5.4.1 a la 5.4.3 detallan los datos que se recopiló para esta sección, la tabla No. 5.4.5 del anexo No 5 muestra un resumen de los parámetros medidos para los equipos de ésta área, a partir de esta tabla se obtuvo la figura 5.13.

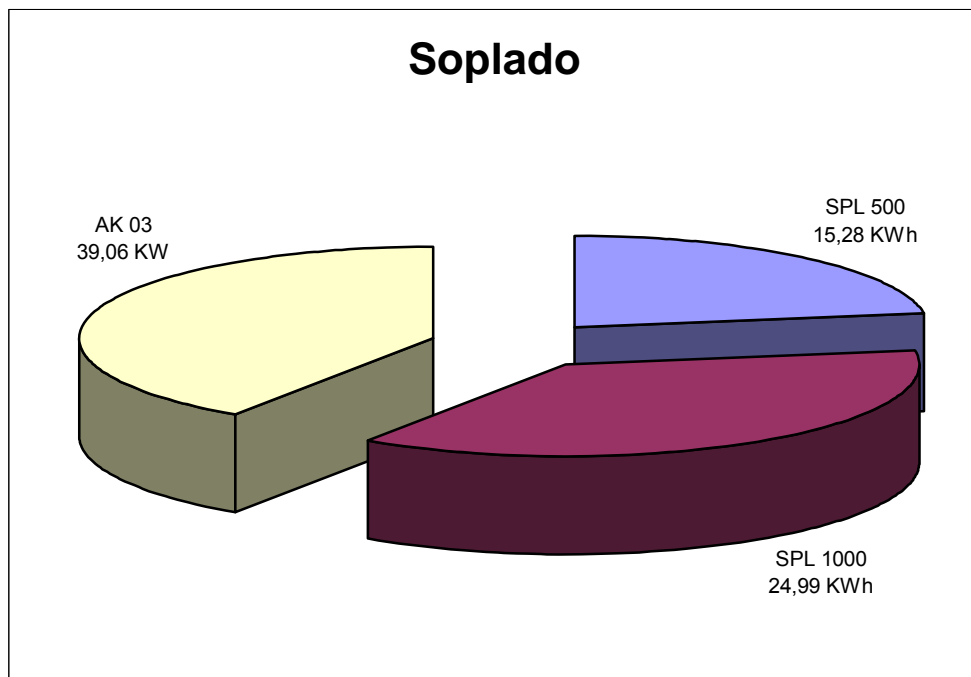


Figura No. 5.13 Consumo Energético (en 1 hora) – Soplado

Al igual que en la planta No. 1, la existencia de equipos auxiliares es fundamental para optimizar los procesos de producción, la figura No. 5.14 muestra la distribución de consumo en KW-h en esta sección.

Las tablas 5.5.1 a la 5.5.11 recopilan todos los datos medidos para los equipos auxiliares, y dan origen a la figura 5.14 a partir de los valores de consumo en KW-h.

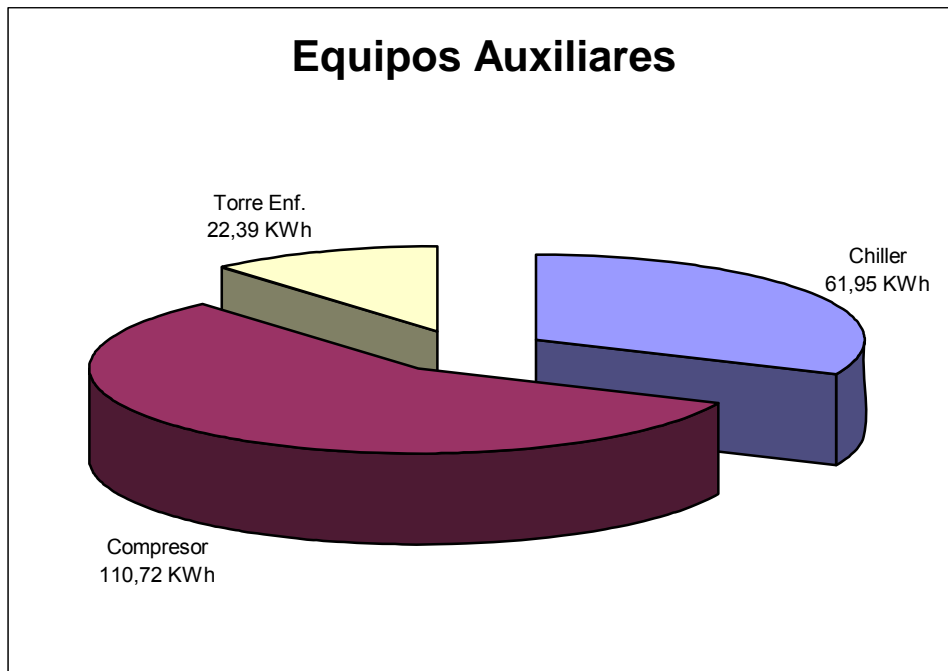


Figura No. 5.14 Consumo Energético (en 1 hora) – Equipos Auxiliares

La figura No. 5.15 y 5.16 muestra el consumo en KW-h de los chillers y compresores respectivamente, dentro de la planta No. 2, en el anexo No. 5, en las tablas desde la No. 5.5.1 a la 5.5.6 se detallan los consumos de los chillers, y desde la No. 5.5.7 a la 5.5.10 la de los compresores, la tabla No. 5.5.11 muestra los datos de consumo de la torre de enfriamiento.

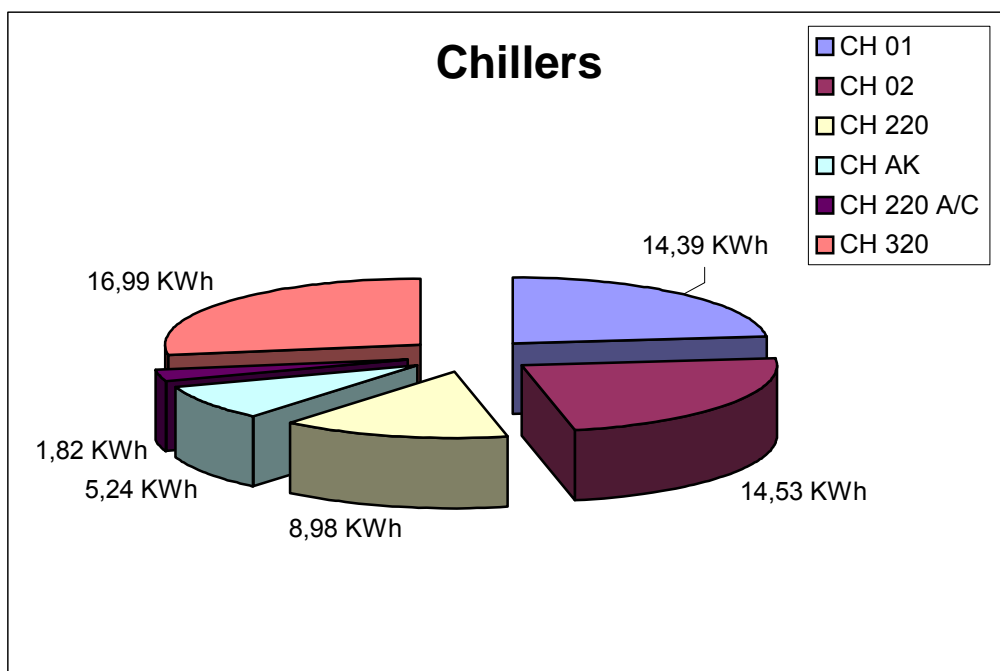


Figura No. 5.15 Consumo Energético (en 1 hora) – Chiller

Compresores

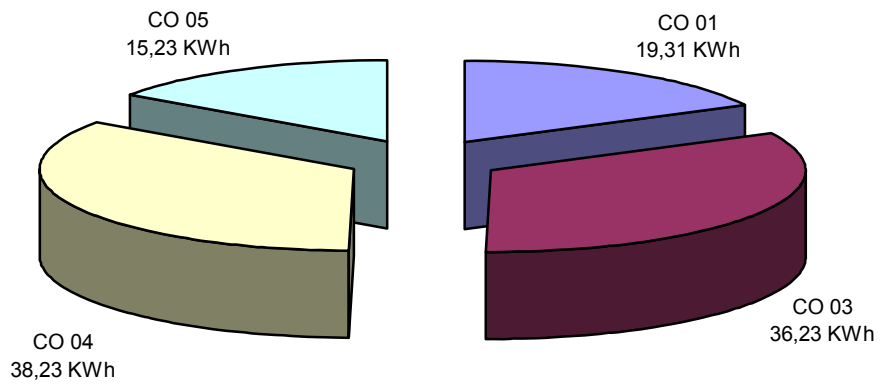


Figura No. 5.16

Consumo Energético (en 1 hora) – Compresores.

5.3 Análisis detallado de sistemas y/o equipos de mayor consumo energético.

La industria del plástico demanda un uso completo de energía eléctrica, pues, las máquinas diseñadas para realizar los diferentes procesos de producción del polímero tienen como fuente de energía a la eléctrica, siendo su principal consumidor los motores eléctricos.

Los equipos complementarios para optimizar los procesos de producción también consumen energía eléctrica como fuente principal, los compresores trabajan con motores eléctricos, los chillers de igual forma añadiendo a su ciclo un par de bombas que también funcionan con energía eléctrica, es así que únicamente se concentrará el estudio en lo que es máquinas eléctricas, ya que no existe otra fuente energética de alimentación.

5.3.1 Planta No. 1

Haciendo un primer análisis general por secciones, se encuentra que la sección de inyección junto con los equipos auxiliares presentan un mayor porcentaje de consumo respecto a las otras secciones, pero se debe tomar en cuenta que la sección de inyección enrola 16 máquinas y los equipos auxiliares alrededor de 15 equipos, con lo que estarían llegando a un 65 % del total de equipos y estarían consumiendo un 56 % del total de la energía, con lo que se tiene en un punto de vista general y redondeado que cada máquina de estas dos secciones consume menos del 1% de la energía total. Estos valores porcentuales comparados con los de la sección de biorientado y soplado PET son variados, ya que entre estas dos secciones suman cinco equipos y un consumo aproximado del 26%, que si se hace la misma relación anterior nos resulta que cada equipo estaría consumiendo un poco más del 5% de la energía total, el restante 18% (aproximado) estaría abarcado por el soplado convencional que con 9 máquinas resultaría un aproximado del 2% por cada máquina.

Estos valores porcentuales, a simple vista, conllevan a analizar directamente lo que son los equipos de biorientado y soplado PET, como los mayores consumidores en la planta No. 1, no obstante los valores de las otras secciones son muy generales (porcentualmente hablando) ya que se toma valores promedios, se tiene que analizar con mucha más puntualidad los equipos de cada sección para identificar los mayores consumidores dentro de las mismas.

La sección de inyección presenta 16 equipos, las máquinas Vincent enumeradas desde la VI 01 a la VI 09 y las cosmos en sus diferentes series, se observa en la figura 5.2 que la VI 35 es el equipo con mayor consumo (25.44 KWh) respecto de las otras que se encuentran en un rango menor, en esta sección se analizará la máquina VI 35.

Tabla No. 5.1 Datos VI 35² (medidos)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
25.44	0	10.22	0.91	60	220

Las tablas 5.1 a la 5.17 se obtuvieron a partir de datos reales medidos en cada equipo de la planta, muestra un promedio de los parámetros principales para el análisis energético, en el anexo No 1 está explicada claramente el significado y origen de los datos de las tablas³.

Comúnmente el factor de potencia (FP) es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, siendo su valor ideal la unidad, esto indicaría que toda la energía consumida ha sido transformada en trabajo, no obstante un factor de potencia superior a 0.85 es aceptable y se diría que se encuentra trabajando en buenas condiciones sin exceso de pérdidas.

La sección de soplado convencional presenta 9 equipos destinados a la producción de distintos envases y capacidades de los mismos, aquí está

² Anexo No 4, tabla 4.1.10

³ Página 150

presente la máquina de Policarbonato (PC), que produce exclusivamente botellones de agua, dicha máquina es la mayor consumidora de esta sección, tal como se aprecia en la figura 5.3, los datos que se obtuvo a partir de la medición en el equipo se muestra en la tabla No. 5.2 la cual es un resumen de los principales parámetros a ser analizados en la presente auditoria, los datos de origen constan en la tabla No. 4.2.7 del anexo No 4, este equipo abarca aproximadamente un 28% del consumo eléctrico de la sección, por este motivo se realizará un estudio detallado de dicho equipo.

Tabla No. 5.2 Datos PC (medidos)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
34.46	21.71	0	0.87	60	220

La sección de Biorientado presenta tres máquinas de idéntico diseño y capacidad instalada, no obstante existe una en particular que tiene un mayor consumo respecto de las otras dos, tal como se puede apreciar en la figura 5.4, es la BK 02 cuyos datos medidos se muestran en la tabla No. 5.3 la cual muestra los parámetros para el análisis energético, los datos de origen se muestran en la tabla No. 4.3.2 del anexo No 4, este equipo representa aproximadamente un 45% del consumo global de la sección.

Tabla No. 5.3 Datos BK 02 (medidos)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
52.19	0	20.32	0.86	60	220

El soplado PET tiene dos máquinas AOKI, la distribución de consumo en el sector es bastante equitativo, difieren la una respecto de la otra en un 4% aproximadamente, lo quiere decir que están 48% vs. 52% aproximado (fig. 5.5), los datos que se obtuvo en los equipos en mención constan en las tablas No. 4.4.1 y 4.4.2 del anexo No. 4.

Los compresores tienen una aportación muy importante dentro del proceso de producción, especialmente en la sección de soplado, el CO 06 abarca un 36% del consumo de la sección (fig. 5.7), la tabla No. 5.4 muestra un

resumen de los datos que se obtuvo en la medición, los cuales se registran en la tabla No 4.5.4 del anexo No. 4.

Tabla No. 5.4 Datos CO 06 (medidos)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
39.62	0	30.61	0.81	60	220

Al igual que los compresores, los chillers también son equipos que mejoran la calidad de producción, éstos brindan refrigeración al proceso, la tabla No. 5.5 muestra los datos que se obtuvo en el CH 11 la cual es un resumen de los datos mostrados en la tabla 4.6.7 del anexo No. 4, el equipo representa un 31% de consumo de la sección (fig. 5.8).

Tabla No. 5.5 Datos CH 11 (medidos)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
26.52	19.62	0	0.83	60	220

No obstante, los índices de consumo no son los únicos parámetros que determinan tomar acciones sobre los equipos en las diferentes secciones, como ya se mencionó anteriormente, el factor de potencia es un parámetro muy importante en el rendimiento de una máquina.

Para el análisis y clasificación de los equipos que necesiten ser analizados detalladamente se considerará a los que presenten un factor de potencia inferior a 0.80.

La tabla No. 5.6 indica un resumen de los equipos de la sección de inyección de la planta No. 1 que presentan un factor de potencia inferior a 0.80, estos datos que se observa en la tabla son un resumen de los que se obtuvo a partir de la medición que se realizó a cada equipo, por lo tanto son datos reales que permitirán realizar un análisis más detenido en los equipos que se muestra a continuación:

Tabla No. 5.6 Factor de Potencia medido – Inyección (Planta 1)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
VI 02	7.99	1.51	8.66	0.51	60	221
VI 03	9.821	2.1	1.15	0.71	60	219
VI 06	9.813	1.98	1.21	0.69	60	220
VI 08	10.10	2.32	7.85	0.64	60	220
VI 09	9.414	2.14	7.29	0.67	60	219
CO 125 B	9.474	3.81	6.42	0.61	60	215
CO 120	10.57	11.1	0	0.21	60	224
CO 260	13.68	0	14.3	0.67	60	221

La tabla No. 5.7 muestra los equipos con un factor de potencia inferior a 0.80 en las secciones de biorientado (BK 03) y PET (AK 01), estos valores son resumen de los valores que se obtuvo a partir de la medición en cada equipo.

Tabla No. 5.7 Factor de Potencia medido – Biorientado y PET (Planta 1)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
AK 01	34.6	0	36.8	0.72	60	219
BK 03	24.96	36.3	0	0.42	60	217

La tabla No. 5.8 hace referencia a los equipos de la sección de soplado convencional, muestra aquellos que durante la medición realizada presentaron un factor de potencia inferior a 0.80.

Tabla No. 5.8 Factor de Potencia medido – Soplado Convencional (Planta 1)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
TPH 410 A	9.44	0	6.51	0.75	60	223
TPH 700 B	13.1	10.4	4.56	0.53	60	218
SI 5000	12.92	0	12.5	0.52	60	219
TPH 700 A	13.24	9.71	4.03	0.49	60	221
MOLINOS	14.07	0	4.58	0.35	60	219

La tabla No. 5.9 registra a los equipos auxiliares (compresor, chiller) que presentaron un factor de potencia inferior a 0.80 durante la medición realizada.

Tabla No. 5.9 Factor de Potencia medido – Eq. Auxiliares (Planta 1)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
CH 01	13.71	4.34	12.4	0.56	60	207
CH 02	3.62	9.23	17.8	0.14	60	209
CH 09	10.37	0	11.4	0.72	60	220
CO 01	1.26	11.2	0	0.11	60	210
CO 10	2.07	6.29	0	0.28	60	206

5.3.2 Planta No. 2

Al hacer un análisis macro de la planta No. 2, es notable que la sección de equipos auxiliares junto con la de extrusión son los mayores sectores de consumo, a continuación se detallará en cada sección los equipos de mayor consumo energético para implementar correctivos en su funcionamiento.

La tabla No 5.10 resume los datos que se obtuvo a partir de las mediciones en los equipos de inyección, en este caso la tabla muestra a la unidad que presentó un mayor consumo energético respecto de la otra, los datos de origen se muestran en la tabla No 5.1.2 del anexo No 5

Tabla No. 5.10 Datos INY 320 – Inyección (Planta 2)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
44.41	28.1	10.2	0.53	60	216

La tabla No. 5.11 muestra el resumen de datos de la EX 02, los datos que se obtuvo en la medición se muestran en la tabla No 5.2.2 del anexo No 5, la EX 02 representa aproximadamente el 48% de consumo de la sección.

Tabla No. 5.11 Datos EX 02 – Extrusión (Planta 2)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
55.98	76.4	0	0.82	60	217

Las dos máquinas que realizan la impresión o flexografía están claramente diferenciadas en su consumo, la tabla No 5.12 muestra los datos que se obtuvo en la medición de la FLEX 01 que representa aproximadamente el 82 % del consumo energético de la sección.

Tabla No. 5.12 Datos FLEX 01 – Flexografía (Planta 2)

KWh	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
45.07	13.3	0	0.89	60	219

La tabla No 5.13 muestra los equipos que presentan mayor consumo energético respecto de los otros, es un resumen de datos que se obtuvo a partir de las mediciones en cada equipo de la sección y se muestran en las tablas 5.4.2 (SPL 1000) y 5.4.3 (AK 03) del Anexo No. 5

Tabla No. 5.13 Datos SPL 1000 y AK 03 – Soplado (Planta 2)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
SPL 1000	24.99	19.8	0	0.71	60	220
AK 03	39.06	19.1	6.33	0.63	60	219

Dentro de los equipos auxiliares, los compresores son los mayores consumidores, ya que se trata de equipos altamente eficientes, pero no se puede dejar de lado los chillers que también forman parte en los procesos de producción, la tabla No. 5.14 resume a los chillers que presentan mayor consumo energético respecto de los otros, los datos para la elaboración de la tabla fueron los que se obtuvieron a partir de las mediciones en cada equipo, y se muestran en las tablas del anexo No. 5 y corresponden a los equipos en mención; tabla No 5.5.1 (CH 01), 5.5.2 (CH 02) y 5.5.4 (CH 320)

Tabla No. 5.14 Datos CH 01, CH 02 y CH 320 – Chillers (Planta 2)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
CH 01	14.39	6.31	0	0.97	60	220
CH 02	14.53	6.79	0	0.95	60	219
CH 320	16.99	10.2	0	0.94	60	218

Tabla No. 5.15 Datos CO 03 y CO 04 – Compresores (Planta 2)

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
CO 03	36.23	12.3	1.42	0.81	60	212
CO 04	38.33	20.2	0	0.91	60	211

La tabla No. 5.15 muestra a los compresores que tienen mayor porcentaje de consumo respecto de los otros, asimismo la tabla muestra un resumen de los datos registrados en las mediciones que se realizó a cada equipo.

Al igual como se procedió en la planta No.1, el factor de potencia es un parámetro importante dentro del análisis de la maquinaria, pese a que en la planta No. 2 la mayoría de los equipos son nuevos y no presentan bajo factor de potencia en la mayoría de sus equipos.

El área de inyección y extrusión se muestran en la tabla No. 5.16, la cual muestra a los equipos que presentan un factor de potencia inferior a 0.80 de las áreas en estudio.

Tabla No. 5.16 Factor de Potencia Medido – Inyección y Extrusión.

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
EX 04	2.64	2.05	2.21	0.64	60	216
EX 05	25.95	11.9	8.56	0.62	60	218
INY 320	44.41	28.1	10.2	0.53	60	216
INY 220	29.72	6.58	17.9	0.61	60	212

Para el área de soplado y equipos auxiliares los equipos que presentan un factor de potencia inferior a 0.80 se muestran en la tabla No. 5.17 y son un resumen de los datos obtenidos durante las mediciones en cada equipo.

Tabla No. 5.17 Factor de Potencia medido – Soplado y Eq. Auxiliares

Equipo	Kw-h	KVA/L	KVA/C	FP	Hz	V [V]
SPL 500	15.28	13.9	0	0.69	60	220
SPL 1000	24.99	19.8	0	0.71	60	220
AK 03	27.51	19.1	6.33	0.63	60	219
CH AK	5.24	1.31	4.93	0.58	60	220

5.4 Procesamiento y evaluación de la información recopilada

En esta etapa del proyecto se cuantificará y se obtendrá información que será útil y necesaria al momento de tomar una decisión o implementación para un mejor uso de la energía.

5.4.1 Cálculo de energía consumida

En el período comprendido desde Octubre del 2003 hasta Noviembre del 2004, la empresa EMPAQPLAST S.A. ha consumido un total de 21848.48 GJ en la planta No. 1 y 9731.78 GJ en la planta No. 2 que para ambas plantas la energía consumida es netamente eléctrica, ya que no se registra el consumo de ningún otro tipo de energía.

5.4.2 Cálculo de energía necesaria

La planta No. 1 tiene en sus instalaciones varios equipos que datan de 12 a 15 años atrás, en todos los equipos está presente al menos un motor eléctrico, no se puede hablar de una energía necesaria puntual, porque estos motores sufren varios picos en su funcionamiento, pero si se puede dar una energía media necesaria para el desenvolvimiento de esta de planta, el cual equivale a 19640 GJ/año, para la planta No. 2 se necesitaría un aproximado de 11536 GJ/año.

5.4.3 Análisis de consumo

Las plantas de EMPAQPLAST S.A. trabajan las 24 horas del día, y 7 días a la semana, es por este motivo que presenta altos rubros de consumo de energía eléctrica, y por ende altos costos de energía, pero dentro del pliego tarifario para la facturación de la energía consumida existen horas pico, las cuales se definen como las horas en las cuales el consumo de energía eléctrica es masivo y por este motivo el costo de la energía aumenta. Las plantas de EMPAQPLAST S.A. podrían optimizar el uso de la energía eléctrica al trabajar

por la noche, ya que a dichas horas casi nadie ocupa dicho recurso energético y el precio por KW-h es menor, pero dentro de los consumos de las plantas, se puede observar que el mayor consumo se lo hace por la mañana, en horas hábiles de trabajo, y no se aprovecha la noche, estos detalles y análisis se los mostrará más adelante..

5.4.4 Análisis de pérdidas

Las pérdidas de energía son inevitables, ningún sistema, sea cual sea el proceso, optimiza al 100% su energía, siempre habrá pérdidas, pero dichas pérdidas deben tener un límite aceptable para que éstas no se conviertan en gastos innecesarios para la empresa. En el siguiente punto se hablará y mencionará las principales alternativas viables que pueden ser utilizadas para que las pérdidas energéticas no sean excesivas.

5.5 Recomendación de la alternativa más viable para optimizar el ahorro de consumo de energía.

Aislante Térmico

Se ha identificado algunos sectores en los cuales se puede optimizar el ahorro de energía, uno de ellos son los cabezales de inyección de la planta No1, es conocido por todos que el calentar o enfriar mediante energía eléctrica resulta costoso, es por este motivo que se ha propuesto diseñar aislante térmico de lana de vidrio para los cabezales de inyección. En la planta No. 2 los cabezales de inyección ya vienen con aislante térmico, con esto se pretende cuantificar las pérdidas de calor existentes en los cabezales de inyección con el fin de determinar los rubros pagados por el mal aprovechamiento de la energía eléctrica.

Primeramente se procedió a tomar varias mediciones de la temperatura en la superficie de los cabezales en las diferentes zonas de calentamientos, tal como se muestra en la tabla No. 1 del Anexo 6, la figura No. 5.17 muestra en forma esquemática la toma de temperatura de los cabezales.

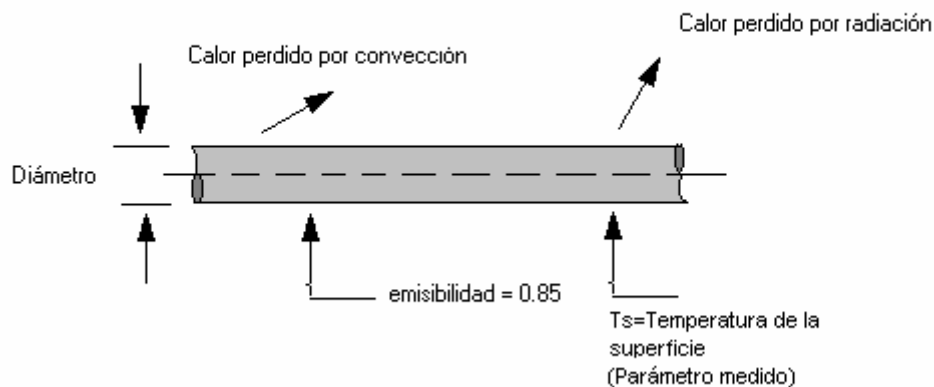


Fig. No. 5.17 Esquema de la toma de temperaturas

La figura 5.17 muestra que en los cabezales (sin aislante) existe pérdidas de calor tanto de convección así como de radiación, las mismas que serán analizadas para una posterior conclusión.

La temperatura promedio del ambiente (T_a) en el cual se desenvuelven los procesos de producción es de 20 °C, asimismo se indica en la tabla No. 1 el promedio de las temperaturas (T_s) para cada cabezal de las diferentes máquinas a ser analizadas, con estos dos valores de temperatura se obtendrá una media entre estos dos valores en °K (T_f), con el cual se deberá recurrir a la ayuda de valores ya cuantificados⁴ para ciertas temperaturas para obtener el coeficiente de conductividad térmica (k) que se muestra en la tabla No. 2 del anexo No. 6, el cual será obtenido mediante interpolación de la siguiente manera (Ejemplo de cálculo para la máquina VI 03):

- Se toma a la Temperatura ambiente $T_a = 20$ °C y la Temperatura promedio en la superficie $T_s = 202.21$ °C y se realiza las siguientes operaciones:

$$T_{s_3} - T_a = 202.21 - 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \\ = 182.21 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$Tf_3 = \frac{T_a + T_{s_3}}{2} \text{ [}^\circ\text{K]}]$$

$$Tf_3 = \frac{(20 + 273) + (202.21 + 273)}{2}$$

$$Tf_3 = 384.1 \text{ }^\circ\text{K}$$

- Este valor obtenido de Tf servirá para recurrir a los valores tabulados, verificando en el rango que se encuentra Tf se obtiene los siguientes datos:

⁴ INCROPERA Frank, Fundamentos de Transferencia de Calor. Cuarta Edición, Apéndice A, Tabla A4

Tabla No. 5.18 Coeficiente de Conductividad Térmica

Temperatura [°K]	Valor k (x10 ³) [W/m°K]
350	30
384.1	K
400	33.8

La tabla No 5.18 muestra los datos tabulados que se tomó de la bibliografía mencionada para obtener el coeficiente de conductividad térmica en la temperatura buscada, para el equipo VI 03 que se está tomando como ejemplo.

- El coeficiente de conductividad térmica se lo calcula mediante interpolación de los datos disponibles:

$$\frac{350 - 400}{350 - 384.1} = \frac{30 - 33.8}{30 - k}$$
$$k = 32.592 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

Asimismo se realiza el cálculo de la viscosidad cinemática (ν), la cual se encuentra en la tabla No. 3 del anexo No. 6, se mostrará un ejemplo de cálculo para la misma máquina en análisis:

- Con la misma temperatura T_f obtenida para k, se procede a obtener los valores tabulados para ν :

Tabla No. 5.19 Viscosidad Cinemática

Temperatura [°K]	Valor ν (x10 ⁶) [m ² /s]
350	20.92
384.1	ν
400	26.41

La tabla No. 5.19 muestra los valores tabulados disponibles para la viscosidad cinemática en las temperaturas mostradas.

- Con el mismo procedimiento de interpolación se obtiene el resultado final:

$$v = 24.6 \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Una vez que se ha calculado estos dos parámetros se procede a calcular el número de Prandtl (Pr), siguiendo el mismo procedimiento que se ha venido utilizando para los valores anteriores, los datos detallados se encuentran en la tabla No. 4 del anexo 6.

Tabla No. 5.20 Número de Prandtl

Temperatura [°K]	Valor Pr [adim]
350	0.700
384.1	Pr
400	0.690

$$Pr = 0.6932$$

La tabla No. 5.20 muestra los valores tabulados para el Número de Prandtl en los rangos de temperatura que se requiere.

El coeficiente de difusividad térmica (α) también fue obtenido con el mismo procedimiento que los parámetros anteriores, los valores están detallados en la tabla No. 5 del anexo 6:

La tabla No. 5.21 registra los valores tabulados para la difusividad térmica en las temperaturas disponibles, posteriormente se procede a interpolar para obtener el valor requerido.

Tabla No. 5.21 Difusividad Térmica.

Temperatura [°K]	Valor α ($\times 10^6$) [m^2/s]
350	29.9
384.1	α
400	38.3

$$\alpha = 35.629 \text{ m}^2/\text{s}$$

El coeficiente de expansión térmica volumétrica (β) se obtiene dividiendo la unidad para el valor de T_f de cada máquina, estos valores se encuentran en la tabla No. 6 del anexo 6:

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{384.1 \text{ } ^\circ K}$$

$$\beta = 0.0026 \text{ } ^\circ K^{-1}$$

Con estos valores que se obtuvo se procede a calcular el número de Rayleigh (Ra), el cual se encuentra tabulado para cada máquina en la tabla 7 del anexo No. 6, y se lo obtiene de la siguiente relación matemática:

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_a) \times \phi^3}{\alpha \times \nu}$$

Que al reemplazar con los valores para el ejemplo de cálculo (Vincent 03) se tiene:

$$Ra = \frac{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \times 0.0026 \left[\frac{1}{^\circ K} \right] \times (202.21 - 20)^\circ K \times (0.12)^3 m^3}{3.5629 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right] \times 2.46 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]}$$

$$Ra = 9150556$$

Obtenido el número de Rayleigh, es posible calcular el número de Nusselt (Nu), el cual se muestra en la tabla No. 8 del anexo No. 6, y se lo obtiene mediante la siguiente fórmula matemática:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 (Ra)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Que reemplazando con los valores para el ejemplo de cálculos se tiene:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 (9150556)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.6932} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 27.434$$

Hasta el momento se ha calculado y determinado varios parámetros que servirán para obtener el coeficiente de transferencia de calor por efecto de convección (h), el cual se muestra en la tabla No. 9 del anexo No. 6, y proviene de la siguiente fórmula:

$$h = \frac{k}{\phi} Nu$$

Donde ϕ es el diámetro del cabezal de inyección.

Que al reemplazar con los datos para el ejemplo de cálculo se obtiene:

$$h = \frac{0.0326 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]}{0.12 m} \times 27.434$$

$$h = 7.4511 \left[\frac{W}{m^2 \circ K} \right]$$

El calor total (q_T) perdido en los cabezales de inyección es el resultado de sumar el calor perdido por efecto de la convección (q_c) junto con el calor perdido por efecto de la radiación (q_r).

El calor perdido por efecto de la convección está detallado en la tabla No. 11 del anexo No. 6, y se lo obtiene de la siguiente manera:

$$q_c = h \times \phi \times \pi \times (T_s - T_a)$$

$$q_c = 7.451 \left[\frac{W}{m^2 \circ K} \right] \times 0.12 m \times \pi \times (202.21 - 20) \circ K$$

$$q_c = 511.82 \left[\frac{W}{m} \right]$$

El calor perdido por efecto de la radiación se lo obtiene con una expresión matemática que requiere de la constante de Stefan-Boltzmann (σ) y del coeficiente de emisividad⁵ (ε) que son valores constantes para el cálculo de éste parámetro, estos datos del calor perdido por radiación se detallan en la tabla No. 10 del anexo No. 6 y se lo obtiene de la siguiente manera:

$$q_r = \varepsilon \times \pi \times \phi \times \sigma \times (T_s^4 [\circ K] - T_a^4 [\circ K])$$

$$q_r = 0.86 \times \pi \times 0.12 [m] \times 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \circ K^4} \right] \times [(475.21)^4 - (293)^4] \circ K^4$$

$$q_r = 792.64 \left[\frac{W}{m} \right]$$

⁵ INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor, Coeficiente de emisividad del acero inoxidable, pág. 851, Apéndice A, tabla A.11

Con la suma de estos dos valores parciales se puede obtener el calor total perdido en los cabezales de inyección, los cuales se muestran en la tabla No. 12 del anexo No. 6:

$$q_T = q_r + q_c$$

$$q_T = 792.64 \left[\frac{W}{m} \right] + 511.82 \left[\frac{W}{m} \right]$$

$$q_T = 1304.5 \left[\frac{W}{m} \right]$$

Hasta aquí se ha obtenido el calor perdido por el cabezal de inyección sin la presencia de aislante térmico que es lo que se propone emplear, a continuación se realizará los cálculos necesarios para el calor perdido, pero esta vez se tomará en cuenta el aislante, el cual será la lana de vidrio.

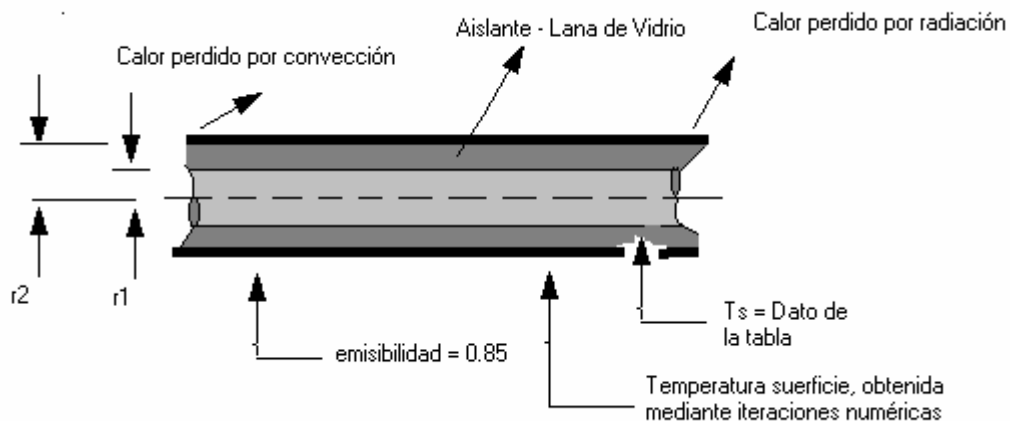


Fig. No. 5.18 Cabezal de inyección con aislante

La figura 5.18 muestra el cabezal de inyección con la presencia de aislante térmico (lana de vidrio), los datos que se obtuvo para las diferentes variables, para este caso, se procede de idéntica forma que para el caso de estar sin aislante, tomando en cuenta los coeficientes de conductividad de los materiales, y del medio, estos valores se muestran en las tablas No. 13, 14 y 15 del anexo No. 6.

Para obtener la temperatura en la superficie del aislante (Tf_2) se procedió a realizar iteraciones con la variable de la temperatura, estos valores se muestran en la tabla No. 16 del anexo No. 6 y se los obtuvo de la siguiente manera:

$$q_{cond} = q_r + q_c$$

$$\frac{k(Ts - Ts_2)}{Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = h \times r_2 \times (Ts_2 - Ta) + \varepsilon \times r_2 \times \sigma \times (T_{s_2}^4 - Ta^4)$$

La incógnita de esta ecuación es Ts_2 , el resto de los parámetros son conocidos, para encontrar el valor que se busca, se realiza iteraciones numéricas y se procede de la siguiente manera:

- Se toma un valor arbitrario para Ts_2 y se lo reemplaza en la igualdad.
- El valor que resulte de esta operación será el nuevo que tomará Ts_2 .
- Con este nuevo dato se vuelve a realizar la misma operación, y se obtendrá otro nuevo valor, con el que se procederá de idéntica manera hasta llegar a una igualdad bien aproximada.
- Una vez obtenida esta igualdad se obtendrá el valor de la temperatura en la superficie del aislante del cabezal.

El aislante irá recubierto con una delgada capa de acero inoxidable, de espesor aproximado de 1 mm, que debido a su alto coeficiente de conductividad térmica, no ha sido tomado en cuenta para la transferencia de calor entre la lana de vidrio y el acero. La temperatura es casi la misma, varía en 0.05%, lo cual la hace despreciable a comparación con el cabezal vs. Aislante.

Obtenidos los resultados de la temperatura en la superficie del aislante comparamos con los medidos sin el aislante, es notoria la diferencia (tabla No 5.22), con esta temperatura Tf_2 calculamos el calor perdido, esta vez ya con el aislante, estos resultados se muestran en la tabla No. 5.23.

Tabla No. 5.22 Temperatura [°C] en la superficie del cabezal de inyección.

MÁQUINA	Sin aislante	Con aislante (Lana de vidrio)	Espesor [mm]
VI 01	167.33	31.96	275
VI 02	204.5	34.92	275
VI 03	202.21	34.74	275
VI 04	164.16	31.72	275
VI 05	198.71	34.45	275
VI 06	170.33	32.20	275
VI 07	230.46	37.04	275
VI 08	209.58	30.40	400
VI 09	222.88	31.11	400
CO 125 A	166.62	27.17	450
CO 125 B	177.70	27.70	450
TPH 700 A	200.95	28.85	450
TPH 700 B	203.33	28.96	450

La tabla No 5.22 muestra claramente como disminuye notablemente la temperatura en el cabezal, esto se lo logra gracias a la presencia del aislante térmico.

Tabla No. 5.23 Calor perdido del cabezal de inyección

MÁQUINA	Sin aislante [W/m]	Con aislante [W/m] (Lana de vidrio)	Espesor [mm]
VI 01	946.53	94.66	275
VI 02	1330.10	118.58	275
VI 03	1304.5	117.14	275
VI 04	916.90	92.65	275
VI 05	1265.80	114.81	275
VI 06	975.03	96.58	275
VI 07	1640.60	135.53	275
VI 08	1388.02	92.89	400
VI 09	1546.01	99.18	400

CO 125 A	1014.35	69.78	450
CO 125 B	1129.91	75.00	450
TPH 700 A	1393.21	86.30	450
TPH 700 B	1421.77	87.38	450

La Tabla No. 5.23 muestra los calores totales perdidos que se presentan en el cabezal, mostrando la diferencia existente con aislante y sin la presencia de éste, los valores para la elaboración de la tabla están presentes en la tabla No 12 y No 17 del anexo No 6

Factor de Potencia

El Factor de Potencia (FP) entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) y describe la relación entre la potencia de trabajo y la potencia total consumida, en términos generales expresa el desfaseamiento o no de la corriente con relación al voltaje y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1 siendo la unidad el valor máximo para FP y por tanto el mejor aprovechamiento de la energía (100%).

En caso de que el factor de potencia sea inferior a 1, implica que los equipos consumen energía reactiva (Q) y por tanto se incrementa la corriente eléctrica que circula en las instalaciones de la empresa, los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas, además produce alteraciones en la regulación de la tensión, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos.

Durante la etapa de toma de datos en los equipos de EMPAQPLAST S.A., se detectó varias unidades con un bajo factor de potencia, las cuales se las presenta en la tabla No. 3 del anexo No. 7, a continuación se detallará un ejemplo de cálculos para una unidad de las que se menciona en la tabla propuesta.

Código:	VI 09
Potencia [Kw]	9.36
FP (medido)	0.67
Voltaje (medido)	219
Resistencia cable (Ω)	0.1665
FP (deseado)	0.92

Corriente y Potencia aparente:

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \text{Cos}\phi}$$

$$I_1 = \frac{9360W}{\sqrt{3} * 219 * 0.67}$$

$$I_1 = 36.83 \text{ A}$$

$$S_1 = \sqrt{3} * V * I_1$$

$$S_1 = \sqrt{3} * 219V * 36.83 \text{ A}$$

$$S_1 = 13.97 \text{ KVA}$$

Tabla No. 5.27 Corriente y Potencia Aparente

MÁQUINA	I ₁ [A]	S ₁ [KVA]	MÁQUINA	I ₁ [A]	S ₁ [KVA]
VI 02	45.641	17.471	MOLINOS	104.70	39.714
VI 03	35.274	13.380	CH 01	67.736	24.286
VI 06	35.828	13.652	CH 02	76.954	27.857
VI 08	37.807	14.406	CH 09	66.701	25.417
VI 09	36.830	13.970	CO 01	31.492	11.455
CO 125 B	39.928	14.869	CO 10	19.719	7.0357
CO 120	125.19	48.571	EX 04	11.026	4.1250
CO 260	51.859	19.851	EX 05	110.85	41.855
AK 01	142.07	53.889	INY 320	166.53	62.302
BK 03	191.31	71.905	INY 220	97.371	35.754
TPH 410 A	27.305	10.547	SPL 500	58.115	22.145
TPH 700 B	67.459	25.472	SPL 1000	92.369	35.197
SI 5000	67.935	25.769	AK 03	115.12	43.667
TPH 700 A	73.042	27.959	CH 220	7.6862	2.8889

La tabla 5.27 indica los valores de corriente y potencia aparente para los equipos de la planta No 1 y No2 de EMPAQPLAST S.A. que tuvieron un factor de potencia medido inferior a 0.80, los valores de la tabla fueron obtenidos de idéntica forma como se muestra en el ejemplo.

Pérdidas en el alimentador:

$$Perd_1 = 3 * R * I_1^2$$

$$Perd_1 = 3 * 0.1665 \Omega * 36.83^2$$

$$Perd_1 = 657.53W$$

Tabla No. 5.28 Pérdidas en el alimentador

MÁQUINA	Perd ₁ [W]	MÁQUINA	Perd ₁ [W]
VI 02	1040.50	MOLINOS	5475.44
VI 03	621.522	CH 01	2291.79
VI 06	641.169	CH 02	2957.97
VI 08	713.954	CH 09	2222.31
VI 09	677.529	CO 01	495.371
CO 125 B	796.328	CO 10	194.221
CO 120	7828.52	EX 04	60.7232
CO 260	1343.33	EX 05	6137.51
AK 01	10081.4	INY 320	13851.8
BK 03	18281.4	INY 220	4735.80
TPH 410 A	372.421	SPL 500	1687.01
TPH 700 B	2273.09	SPL 1000	4261.71
SI 5000	2305.30	AK 03	6619.51
TPH 700 A	2664.88	CH 220	29.5091

La No 5.28 indica las pérdidas en el alimentador para los equipos en mención, este valor servirá para el cálculo total de las pérdidas.

KVAR del capacitor⁶:

⁶ Factor K, tabla No. 4 del Anexo No. 7

$$Q_c = P * K$$

$$K = \tan \phi_1 - \tan \phi_2$$

$$\phi_1 = \cos^{-1}(0.67) \quad \phi_2 = \cos^{-1}(0.92)$$

$$\phi_1 = 47.93 \quad \phi_2 = 23.074$$

$$K = 0.6818$$

$$Q_c = 9.36 \text{ KW} * 0.6818$$

$$Q_c = 6.3835 \text{ KVAR}$$

Tabla No. 5.29 KVAR del Capacitor

MÁQUINA	Qc [KVAR]	MÁQUINA	Qc [KVAR]
VI 02	11.2321	MOLINOS	31.2810
VI 03	5.37543	CH 01	14.3270
VI 06	5.86867	CH 02	25.9214
VI 08	7.14170	CH 09	9.84274
VI 09	6.38355	CO 01	10.8483
CO 125 B	7.91830	CO 10	5.91507
CO 120	43.1432	EX 04	2.04491
CO 260	9.07065	EX 05	21.7847
AK 01	20.8688	INY 320	38.7654
BK 03	52.3902	INY 220	19.0406
TPH 410 A	3.60632	SPL 500	9.51945
TPH 700 B	15.8490	SPL 1000	14.1402
SI 5000	16.3028	AK 03	22.1921
TPH 700 A	18.5365	CH 220	1.46818

Corriente y potencia aparente (recalculados):

$$I_2 = \frac{9360 \text{ W}}{\sqrt{3} * 219 \text{ V} * 0.92}$$

$$I_2 = 26.82 \text{ A}$$

$$S_2 = \sqrt{3} * 219 \text{ V} * 26.82 \text{ A}$$

$$S_2 = 10.17 \text{ KVA}$$

$$Perd_2 = 3 * 0.1665 \Omega * 26.82^2$$

$$Perd_2 = 359.34 \text{ W}$$

La tabla No 5.30 indica la corriente y potencia aparente, junto con las nuevas pérdidas, que se recalculó con el valor de Qc que se obtuvo a partir del factor K.

Tabla No. 5.30 Corriente y Potencia aparente (Recalculados)

MÁQUINA	I ₂ [A]	S ₂ [KVA]	Perd ₂	MÁQUINA	I ₂ [A]	S ₂ [KVA]	Perd ₂
VI 02	25.30	9.68480	319.7	MOLINOS	39.83	15.1090	792.4
VI 03	27.22	10.3260	370.1	CH 01	41.23	14.7830	849.1
VI 06	26.87	10.2390	360.6	CH 02	11.71	4.23910	68.49
VI 08	26.30	10.0220	345.5	CH 09	52.20	19.8910	1361
VI 09	26.82	10.1740	359.3	CO 01	3.765	1.36960	7.081
CO 125 B	26.47	9.85870	350.1	CO 10	6.00	2.14130	17.99
CO 120	28.57	11.0870	407.9	EX 04	7.670	2.8696	29.38
CO 260	37.76	14.4570	712.4	EX 05	74.70	28.207	2787
AK 01	111.1	42.1740	6174	INY 320	95.93	35.89	4597
BK 03	87.33	32.8260	3810	INY 220	64.56	23.707	2082
TPH 410 A	22.26	8.59780	247.5	SPL 500	43.58	16.609	948.9
TPH 700 B	38.86	14.6740	754.4	SPL 1000	71.28	27.163	2538
SI 5000	38.39	14.5650	736.4	AK 03	78.83	29.902	3104
TPH 700 A	38.90	14.8910	755.9	CH 220	5.263	1.9783	13.83

Energía anual ahorrada:

$$\Delta Perd = Perd_1 - Perd_2$$

$$\Delta Perd = 677.53W - 359.34W$$

$$\Delta Perd = 318.19W$$

$$E_{ahorro} = \frac{\Delta Perd * \text{horas} / \text{mes} * 12 \text{meses}}{1000}$$

$$E_{ahorro} = \frac{318.19W * 650 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} * 12 \text{meses}}{1000}$$

$$E_{ahorro} = 2481.9 \frac{KWh}{año}$$

Considerando un valor promedio de 0.074 \$/Kw que es un promedio bastante aproximado del costo de la energía se tiene un ahorro equivalente a \$ 183.66 anuales por esta máquina, los valores para los restantes equipos se detalla en la tabla mencionada.

Tabla No. 5.31 Energía total ahorrada (anual)

MÁQUINA	[kWh/año]	[\$/año]	MÁQUINA	[kWh/año]	[\$/año]
VI 02	5621.9	416.021	MOLINOS	36527	2703.02
VI 03	1960.6	145.08	CH 01	11253	832.70
VI 06	2188	161.91	CH 02	22538	1667.81
VI 08	2873.9	212.67	CH 09	6717.4	497.08
VI 09	2481.9	183.66	CO 01	3808.7	281.84
CO 125 B	3480.7	257.57	CO 10	1374.6	101.72
CO 120	57881	4283.19	EX 04	244.43	18.08
CO 260	4920.8	364.14	EX 05	26131	1933.68
AK 01	30473	2255.01	INY 320	72187	5341.86
BK 03	112877	8352.87	INY 220	20700	1531.79
TPH 410 A	974.36	72.10	SPL 500	5756.9	426.01
TPH 700 B	11846	876.59	SPL 1000	13443	994.81
SI 5000	12237	905.52	AK 03	27420	2029.11
TPH 700 A	14890	1101.84	CH 220	122.24	9.04

Tomando en cuenta que EMPAQPLAST S.A. tiene puesto en su red de distribución un banco de capacitores para compensar los cargos por factor de potencia bajo (a nivel grupal), cabe destacar que esto es únicamente para evitar multas por parte de la empresa eléctrica, los motores eléctricos presentes en los equipos poseen bajo factor de potencia y ésta energía no utilizada es considerada como pérdida, es decir, como energía pagada y no utilizada.

Las potencias que se muestran en la tabla No. 3 del anexo No. 7 para Qc, son las que necesitan los capacitores, teniendo en cuenta que en el

mercado no existen las potencias exactas, se necesita acoplar las que existan en el mercado para lograr obtener la potencia requerida, esta combinación para los capacitores se muestra en la tabla No. 5 del anexo No. 7.

En un requerimiento de la empresa se solicitó realizar el rediseño de algunos de los intercambiadores de calor de los equipos de inyección, esta parte del proyecto no consta como una alternativa para el ahorro energético.

Intercambiador de Calor

Los intercambiadores de calor son importantes en el proceso productivo de la empresa, ya que se está hablando de máquinas automatizadas que tienen como fluido de trabajo al aceite, éste necesita ingresar en parámetros óptimos de funcionamiento para la correcta operación de las maquinarias, al ingresar al proceso de trabajo, el fluido sufre alteraciones en su temperatura y por ende en su viscosidad, para lograr que el aceite vuelva a sus condiciones óptimas de operación es necesaria la presencia del intercambiador de calor para lograr disminuir la temperatura a la salida del trabajo y vuelva a ser reutilizado, el fluido refrigerante es el agua.

Cada equipo ya posee un intercambiador de calor para el funcionamiento del proceso, el departamento de control de calidad después de varios análisis de control junto con el departamento de mantenimiento ha propuesto rediseñar los intercambiadores de calor, con el fin de reducir el producto defectuoso por causa de maquinaria, ya que si bien es cierto cada unidad que no cumple con los requerimientos mínimos de calidad es enviada al reciclaje y se podría pensar que no existe pérdida de material, se debería tomar en cuenta que existe pérdida en la producción, ya que ese producto defectuoso pudo haber sido empacado y entregado.

El cambio que se propone para los intercambiadores de calor es reducir su longitud a aproximadamente 1 metro de recorrido en entrar y salir el fluido (1.5 m longitud orinal) y proponer otros parámetros de entrada para los fluidos tanto de trabajo como de refrigeración, con esto se pretende que el polímero

que se encuentra en proceso de producción llegue a su punto de evacuación en el tiempo calculado (15 seg.) y sea expulsado adecuadamente de los moldes sin necesidad de parar la máquina y obtener el menor número de producto defectuoso.

Los equipos, desde el VI 01 al VI 09, tienen las mismas condiciones de trabajo, el rediseño para estas máquinas es el mismo.

Los parámetros actuales que presentan los intercambiadores se muestran en la tabla No 1 del anexo No 7, los parámetros propuestos para rediseñar los intercambiadores son los siguientes:

Temperatura entrada de aceite (Th_i)	= 50 ° C.
Temperatura salida de aceite (Th_o)	= 45 ° C.
Temperatura entrada de agua (Tc_i)	= 20 ° C.
Flujo másico aceite (\dot{m}_h)	= 17 GPM
Flujo másico agua (\dot{m}_c)	= 14 GPM
Calor específico agua (Cp_c)	= 4181 J/Kg.°K.
Coefficiente de convección aceite (h_o)	= 412.36 W/m ² °K (Rando 68)

$$1 \text{ GPM} = 0.063 \text{ Kg/s}$$

$$17 \text{ GPM} = 0.9367 \text{ Kg/s.}$$

$$14 \text{ GPM} = 0.8866 \text{ Kg/s.}$$

La transferencia de calor (Q_T) que se requiere puede obtenerse a partir del balance global de energía para el fluido caliente, esto es:

$$Q_T = \dot{m}_h * Cp_h * (Th_i - Th_o)$$

$$Q_T = 0.9367 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1995.1 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} (45 - 50)^\circ\text{K}$$

$$Q_T = 9344.05 \text{ W}$$

MÁQUINA	Q _T [w]
VINCENT (01 – 09)	9344.05
CO 125 A	8396.4
CO 125 B	8396.4
TPH 700 A	11248
TPH 700 B	11248

Al obtener la transferencia de calor necesaria, se puede aplicar la misma ecuación del balance global de energía, pero esta vez para el fluido frío, así se puede despejar la temperatura de salida del agua que hasta el momento es desconocida con los nuevos datos propuestos.

$$Q_T = \dot{m}_c * C_{p_c} * (T_{c_i} - T_{c_o})$$

$$T_{c_o} = \frac{Q_T}{\dot{m}_c * C_{p_c}} + T_{c_i}$$

$$T_{c_o} = \frac{9344.05 \text{ W}}{0.8866 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 4181 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{k}}} + 20$$

$$T_{c_o} = 22.52^\circ\text{C}$$

Tabla No. 5.24 Temperatura de salida del fluido frío

MÁQUINA	T _{co} [°C]
VINCENT (01 – 09)	22.5
CO 125 A	23
CO 125 B	23
TPH 700 A	23
TPH 700 B	23

Teniendo las temperaturas de entrada y salida, tanto del fluido caliente (aceite) y del fluido frío (agua), se obtiene las temperaturas medias absolutas ($T_{m_{h,c}}$) de ambos fluidos para poder conseguir mediante ayuda bibliográfica los datos necesarios para continuar con los cálculos adecuados para el rediseño del intercambiador de calor.

$$Tm_h = \frac{Th_i + Th_o}{2} + 273$$

$$Tm_h = \frac{50 + 45}{2} + 273$$

$$Tm_h = 320.5^\circ K$$

$$Tm_c = 294.26^\circ K$$

Los datos que se presentan a continuación, fueron obtenidos de valores tabulados en la bibliografía disponible⁷, y con la ayuda de la interpolación se tuvo:

Aceite:

	Cp	u	K	Pr
Tinferior	320	320	320	320
Tbuscada	320,5	320,5	320,5	320,5
Tsup	330	330	330	330
Dato inf	1,993	14,1	143	1,965
Dato sup	2,035	8,36	141	1,205
RESULTADO	1995,1	0,13813	0,1429	1,927

Agua:

	Cp	u	K	Pr
Tinferior	300	300	300	300
Tbuscada	294,260273	294,260273	294,260273	294,260273
Tsup	305	305	305	305
Dato inf	4179	855	613	5,83
Dato sup	4178	769	620	5,2
RESULTADO	4180,147945	0,000953723	0,604964382	6,553205596

Calor específico del aceite (C_{ph}) = 1995.1 J/Kg.°K.

Viscosidad dinámica aceite (μ_h) = 0.13813 Ns/m².

Viscosidad dinámica agua (μ_c) = 0.0009537 Ns/m².

Conductividad térmica aceite (k_h) = 0.1429 W/m°K

Conductividad térmica agua (k_c) = 0.6049 W/m°K

Número de Prandtl aceite = 1.927

Número de Prandtl agua = 6.5532

⁷ INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor, Apéndice A.

A continuación se aplicará la ecuación de la diferencia de temperaturas media logarítmica que es de la siguiente forma:

$$LMTD = \frac{(Th_i - Tc_o) - (Th_o - Tc_i)}{\ln \left[\frac{Th_i - Tc_o}{Th_o - Tc_i} \right]}$$

$$LMTD = \frac{(50 - 22.52) - (45 - 20)}{\ln \left(\frac{50 - 22.52}{45 - 20} \right)}$$

$$LMTD = 26.22^\circ C$$

Al aplicar la ecuación de las temperaturas medias logarítmicas, es necesario introducir un factor de corrección F, que se lo obtiene mediante una representación gráfica logarítmica⁸, para esto intervienen dos factores adicionales que conllevan al resultado final de F, estos son los factores P y R que se muestran en la tabla No 5.25, y tienen la siguiente representación matemática para su cálculo.

$$R = \frac{Th_i - Th_o}{Tc_o - Tc_i}$$

$$R = \frac{50 - 45}{22.52 - 20}$$

$$R = 1.9836$$

$$P = \frac{Tc_o - Tc_i}{Th_i - Tc_i}$$

$$P = \frac{22.52 - 20}{50 - 20}$$

$$P = 0.084$$

$$F = 0.85$$

Tabla No. 5.25 Factores de corrección para LMTD

MÁQUINA	R	P	F
VINCENT (01 – 09)	1.983	0.084	0.95
CO 125 A	1.987	0.0808	0.96
CO 125 B	1.987	0.0808	0.96
TPH 700 A	1.977	0.094	0.97
TPH 700 B	1.977	0.094	0.97

⁸ INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor, pág. 592 fig. 11.10

La tabla No 5.26 indica los valores de LMTD corregidos con base al factor de corrección F.

Tabla No. 5.26 LMTD corregido

MÁQUINA	LMTD [°C]
VINCENT (01 – 09)	26.22
CO 125 A	23.25
CO 125 B	23.25
TPH 700 A	26.63
TPH 700 B	26.63

Ahora se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) para el fluido de refrigeración (agua).

$$Re_c = \frac{4 \dot{m}_c}{\pi D_c \mu_c}$$

$$Re_c = \frac{4 * 0.8866 \frac{kg}{s}}{\pi * 0.004765 m * 0.0009537 \frac{kg}{m s}}$$

$$Re_c = 7101.417$$

$$Nu_c = 0.023 Re_c^{4/5} Pr^{0.4}$$

$$Nu_c = 0.023 (7101.417)^{4/5} (6.553)^{0.4}$$

$$Nu_c = 58.801$$

$$h_c = \frac{k_c}{D_c} Nu_c$$

$$h_c = \frac{0.6049 \frac{W}{m^2 K}}{0.004762 m} 58.801$$

$$h_c = 7469.305 \frac{W}{m^2 K}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{412.36} + \frac{1}{7469.305}}$$

$$U = 390.785 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$Q_T = U * A * LMTD_F$$

$$A = \frac{Q_T}{U * LMTD_F}$$

$$A = \frac{9344.0508 W}{390.785 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} * 22.287 ^\circ K}$$

$$A = 1.104 m^2$$

$$L = \frac{A}{N * \pi * D}$$

$$L = \frac{1.104 m^2}{70 * \pi * 0.0047625 m}$$

$$L = 1.054 m$$

Con estos resultados se ha llegado a lo propuesto por los departamentos en la empresa, a fin de reducir los desperdicios por motivo de maquinaria, los resultados para las otras máquinas se muestran en la tabla No.5.27.

Tabla No. 5.27 Valores de área, longitud y coeficiente de conductividad.

MAQUINA	h	A	L
	W/m ² °K	m ²	m
VINCENT	7469,3	1,1042	1,054
CO 125 A	7537,44	1,055	1,008
CO 125 B	7537,4	1,055	1,008
TPH 700 A	7486,7	1,1122	1,062
TPH 700 B	7486,7	1,1122	1,062