

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUDITORÍA EXERGÉTICA Y ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A, ILCSA.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

JHONNY XAVIER ALMEIDA MONTENEGRO

DIRECTOR: ING. ADRIÁN PATRICIO PEÑA IDROVO.

CODIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA

Sangolquí, 2007-10-29

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “AUDITORÍA EXERGÉTICA Y ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A, ILCSA” fue realizado en su totalidad por JHONNY XAVIER ALMEIDA MONTENEGRO, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Adrián Patricio Peña I.

DIRECTOR

Ing. Ernesto Soria.

CODIRECTOR

Sangolquí, 2007-10-29

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“AUDITORÍA EXERGÉTICA Y ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE
OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA LECHERA
CARCHI S.A, ILCSA”**

ELABORADO POR:

JHONNY XAVIER ALMEIDA MONTENEGRO.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL COORDINADOR

Sangolquí, 2007-11-05

DEDICATORIA

A DIOS:

Por haberme dado la oportunidad
de vivir,
haberme concedido la dicha de
llegar a este momento
y permitirme cumplir mi más
grande sueño.....
Haber terminado la Carrera.

A MI MADRE:

Marina (Por su pronta recuperación).

Con la más profunda gratitud;
Por los esfuerzos que realizó,
para lograr terminar mi carrera
profesional.

Siendo para mí la mayor ilusión,
y la más grande de las herencias.

A ella, que puede ver el fruto de una
semilla, sembrada con esfuerzo e
ilusión.

A ella, que me enseñó el amor al
trabajo y el sacrificio constante.

A ella, que me enseñó la humildad
y ha ser sincero y leal con sus
principios.

A ella que ha guiado mis pasos por
el sendero del bien y de la verdad.

A ella testigo fiel de mis tristezas y
alegrías, de mis triunfos y fracasos.

A ella que me alimentó con ternura
y amor, y que en tiempos de tempestad,
supo darme luz y protección.

A ella.....

A MIS HERMANAS:

Náthaly y Liseth

Porque pese a las dificultades
que han sobrellevado,
Aun conservan en sus espíritus
todo el amor, la ternura y el deseo
por sobresalir en la vida.
A ellas, que son la luz infinita
de mis ojos afligidos.

JHONNY XAVIER ALMEIDA MONTENEGRO.

AGRADECIMIENTOS

A LOS PROFESORES DE LA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO:

De la CIME

Por depositar en mí los conocimientos,
El amor al estudio y dedicación.
Que hicieron que floreciera mi carrera.
En especial agradezco a mis profesores
directores por haber colaborado en la
elaboración de este proyecto.

A LA INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A:

Por lo confianza y facilidades prestada para
la elaboración de este proyecto. De manera
muy especial agradezco a sus Directivos,
Personal administrativo, técnico y de producción.
En particular agradezco a los Srs. Luís Arcos,
Guillermo López y Fernando Guerra por toda la
ayuda prestada durante mi estadía en la empresa.

JHONNY XAVIER ALMEIDA MONTENEGRO.

EPÍGRAFE

Suelo repetir con frecuencia que sólo cuando es posible medir y expresar en forma numérica la materia de que se habla, se puede decir que sabemos algo acerca de ella; caso contrario, nuestro saber será deficiente e insatisfactorio mientras no seamos capaces de traducirlo en números.

WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
EPÍGRAFE.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
TABLAS.....	xvii
FIGURAS.....	xx
NOMENCLATURA.....	xxiv
ANEXOS.....	xxvii
RESUMEN.....	xxix
CAPITULO 1.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 GENERAL.....	7
1.4.2 ESPECÍFICOS.....	7
1.5 ALCANCE.....	7

CAPÍTULO 2.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 BALANCE DE ENERGÍA.....	9
2.2 CONCEPTO DE EXERGÍA.....	12
2.2.1 TRABAJO REVERSIBLE.....	13
2.2.2 IRREVERSIBILIDAD.....	15
2.3 DEFINICIÓN DE AUDITORÍA EXERGÉTICA.....	16
2.3.1 BENEFICIOS.....	19
2.3.2 EL AUDITOR EXERGÉTICO.....	21
2.3.3 AUDITORÍA PRELIMINAR.....	21
2.3.3.1 Organización de recursos.....	21
2.3.3.2 Recopilación de datos.....	22
2.3.3.3 Análisis de datos.....	23
2.3.3.4 Desarrollo del plan de acción.....	23
2.3.4 AUDITORÍA DEFINITIVA.....	23
2.3.5 DIAGRAMAS ENERGÉTICOS DE SANKEY.....	25
CAPITULO 3.....	26
3. AUDITORÍA EXERGÉTICA PRELIMINAR.....	26
3.1 DESEMPEÑO FUNCIONAL DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN CARCHI.....	26
3.1.1 CAPACIDAD INSTALADA.....	26
3.1.2 CAPACIDAD UTILIZADA.....	27
3.1.3 CAPACIDAD NO UTILIZADA.....	28

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN EN INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A	29
3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	30
3.3 DATOS DE EMPRESA AUDITADA.....	38
3.3.1 DATOS DE PRODUCCIÓN.....	38
3.3.2 DATOS ENERGÉTICOS.....	39
3.3.2.1 Energía eléctrica.....	40
3.3.2.2 Combustible.....	41
3.4 DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS A AUDITARSE.....	42
3.4.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO.....	42
3.4.1.1 Inspección general del compresor recíprocante.....	44
3.4.1.2 Inspección general del condensador y evaporador.....	45
3.4.1.3 Inspección general de las líneas de amoniaco.....	46
3.4.2 ENERGÍA ELÉCTRICA.....	47
3.4.2.1 Maquinaria eléctrica.....	47
3.4.2.2 Iluminación.....	48
3.4.3 SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	49
3.4.3.1 Calderas.....	49
3.4.3.2 Líneas de distribución de vapor y condensado.....	52
3.4.4 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	53
3.4.4.1 Inspección general del compresor.....	54
3.4.4.2 Inspección general de la línea de aire comprimido.....	56

3.4.5 SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA.....	56
3.4.5.1 Inspecciones generales.....	57
CAPÍTULO 4.....	61
4. AUDITORÍA EXERGÉTICA DEFINITIVA.....	61
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO.....	61
4.1.1 ANALISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO SATURADO SIMPLE.....	63
4.1.1.1 Cálculo del COP en el ciclo saturado simple.....	66
4.1.2 ANALISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO REAL.....	67
4.1.2.1 Cálculo del COP en el ciclo de refrigeración real.....	70
4.1.3 RELACIÓN ENTRE EL COP TEÓRICO Y EL COP REAL.....	70
4.1.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO.....	71
4.1.4.1 Análisis de la ganancia de calor en las paredes del banco de hielo.....	72
4.1.4.2 Cálculo de la carga del producto.....	81
4.1.5 ANÁLISIS EXERGÉTICO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	83
4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENERGÍA ELECTRICA.....	91

4.2.1 ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA MAQUINARIA E ILUMINACIÓN.....	91
4.2.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUALES Y RECOMENDADOS.....	95
4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	98
4.3.1 CALCULO EFICIENCIA DE COMBUSTION Y EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR.....	99
4.3.1.1. Cálculo de la eficiencia de combustión “Ef _{comb.} ”.....	101
4.3.1.2 Calculo de la eficiencia del generador de vapor “ $\eta_{caldera}$ ”.....	102
4.3.2 ECUACIONES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	110
4.3.2.1 Proceso de combustión real.....	110
4.3.2.2 Proceso de combustión teórico.....	113
4.3.2.3 Porcentaje de aire teórico utilizado por la caldera.....	114
4.3.3 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	115
4.3.3.1 Pérdidas de vapor.....	115
4.3.3.2 Análisis del trazado de la línea de vapor.....	117
4.3.3.3 Pérdidas de calor a través del aislamiento térmico.....	119
4.3.4 DIAGRAMA DE ENERGÍA Y EXERGÍA DE LA CALDERA.....	131
4.3.5 CÁLCULO TASA DE RETORNO DEL CONDENSADO.....	134

4.4 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	135
4.4.1 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN LA TUBERÍAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	135
4.4.2 COMPROBACIÓN DEL DIMENCIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.....	137
4.4.3 ANÁLISIS DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	140
CAPÍTULO 5.....	143
5. ALTERNATIVAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO.....	143
5.1 BUENAS PRÁCTICAS ENERGÉTICAS EN LA EMPRESA.....	143
5.1.1 RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE BUENAS PRÁCTICAS.....	145
5.1.2 EL COMPROMISO EMPRESARIAL CON LAS BUENAS PRÁCTICAS DE USO ENERGÉTICO.....	149
5.1.2.1 Políticas Energéticas de la empresa.....	149
5.1.2.2 Nuestras formas internas de trabajo.....	150
5.2 MEJORAS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO.....	151
5.2.1 MEJORAS EN AISLAMIENTOS Y REGIMEN DE FUNCIONBAMIENTO.....	153
5.2.2 REDUCCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN.....	155
5.2.2.1 Mejora en el aislamiento del banco de hielo.....	155

5.2.2.2	Disminución en el nivel de agua en el banco de hielo.....	164
5.2.3	MEJORA EN EL COP DEL CICLO.....	166
5.3	MEJORAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	169
5.3.1	MEJORAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD.....	170
5.3.1.1	Elección de las características de una distribución en derivación.....	171
5.3.1.2	Selección del conductor para los receptores de energía eléctrica.....	173
5.3.1.3	Selección del contactor electromagnético para los receptores de energía eléctrica.....	175
5.3.2	MEJORA EN EL FACTOR DE POTENCIA.....	178
5.3.3	MEJORAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	180
5.4	MEJORAS EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	183
5.4.1	MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y EFICEINCIA DEL GENERADOR DE VAPOR.....	184
5.4.1.1	Cálculo nueva eficiencia de combustión “E _{f comb.} ”.....	184
5.4.1.2	Cálculo nueva eficiencia del generador de vapor “ η_{caldera} ”.....	185
5.4.2	REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE.....	187
5.4.3	PRECALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	191
5.4.4	REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN DE TRABAJO EN LA CALDERA.....	192

5.4.5 MEJORAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	194
5.4.5.1 Reducción de fugas de vapor.....	194
5.4.5.2 Mejoras en el aislamiento de las líneas de suministro de vapor.....	194
5.5 MEJORAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	196
5.5.1 UBICACIÓN DE LOS COMPRESORES.....	196
5.5.2 MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE.....	197
5.5.3 MEJORAS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.....	198
5.5.4 REDUCCIÓN DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	200
5.6 PROGRAMA DE EJECUCIÓN.....	201
5.6.1 PLAN DE ACCIÓN.....	201
5.6.2 CAPACITACIÓN.....	203
5.7 PROGRAMA DE EVALUACIÓN.....	205
5.7.1 MONITOREO.....	205
CAPÍTULO 6.....	207
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA.....	207
6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS MEJORAS ENERGÉTICAS.....	207
6.1.1 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO.....	207
6.1.1.1 Ahorros obtenidos por mejoras en aislamientos y régimen de funcionamiento.....	207
6.1.1.2 Ahorros obtenidos por reducción de la carga térmica de refrigeración.....	208

6.1.1.3 Ahorros obtenidos por mejora en el COP del ciclo de refrigeración.....	209
6.1.2 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	210
6.1.2.1 Ahorro por selección de conductores y protecciones de motores.....	210
6.1.2.2 Ahorro por mejoramiento del factor de potencia.....	212
6.1.2.3 Ahorros por cambios de luminarias.....	212
6.1.3 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	213
6.1.3.1 Ahorros por mejoras en la eficiencia de combustión.....	214
6.1.3.2 Ahorros por mejoras en la eficiencia del generador de vapor.....	214
6.1.3.3 Ahorros por precalentamiento del agua de alimentación.....	215
6.1.3.4 Ahorros por reducción en la presión de trabajo de la caldera.....	216
6.1.3.5 Ahorro por disminución de fugas.....	217
6.1.3.6 Ahorros por aislamiento de las líneas de suministro de vapor.....	217
6.1.4 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	218
6.1.4.1 Ahorros por reubicación de compresores.....	218
6.1.4.2 Ahorros por arreglo de fugas de aire.....	219
6.2 DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO.....	220
6.3 DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN.....	223
6.4 ESTADO DE RESULTADOS.....	225

6.5 CRONOGRAMA DE INVERSIONES.....	226
6.6 CÁLCULO DE INDICADORES ECONÓMICOS.....	226
6.6.1 VALOR ACTUAL NETO “VAN”	226
6.6.2 TASA DE RETORNO INTERNA “TIR”	227
6.6.3 ANÁLISI BENEFICIO-COSTO “B/C”	228
CAPÍTULO 7.....	230
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	230
7.1 CONCLUSIONES.....	230
7.2 RECOMENDACIONES.....	238
REFERENCIAS.....	257

TABLAS

Tabla 3.1	CARCHI: Capacidad de Industria Láctea 2006 Millones de litros de leche anuales.....	28
Tabla 3.2	CARCHI: Capacidad de Industria Láctea 2006 [%].....	28
Tabla 3.3	ILCSA: Datos de producción 2006.....	39
Tabla 3.4	ILCSA: Consumo de energía eléctrica periodo 2006.....	40
Tabla 3.5	ILCSA: Consumo de combustible periodo 2006.....	41
Tabla 3.6	ILCSA: Características del combustible utilizado en las calderas y camiones.....	42
Tabla 3.7	ILCSA: Datos técnicos del sistema de enfriamiento de agua.....	43
Tabla 3.8	ILCSA: Características técnicas del compresor para NH ₃	44
Tabla 3.9	ILCSA: Tipo y costos de alumbrado áreas de producción.....	48
Tabla 3.10	ILCSA: Características técnicas de la caldera Continental.....	50
Tabla 3.11	ILCSA: Características técnicas de la caldera York Shipley.....	51
Tabla 3.12	ILCSA: Características técnicas del compresor para aire.....	55
Tabla 3.13	ILCSA: Características técnicas de las bombas para agua fría.....	58
Tabla 3.14	ILCSA: Características técnicas de las bombas para agua proveniente del municipio y poso.....	59
Tabla 4.1	ILCSA: Parámetros de funcionamiento del equipo de refrigeración con amoníaco.....	63

Tabla4.2	ILCSA: Propiedades del refrigerante en el ciclo saturado simple.....	66
Tabla4.3	ILCSA: Propiedades del refrigerante en el ciclo real.....	69
Tabla4.4	ILCSA: Condiciones de ingreso del refrigerante al evaporador.....	84
Tabla4.5	ILCSA: Condiciones de ingreso del refrigerante al condensador evaporativo marca mycom	85
Tabla4.6	ILCSA: Condiciones de ingreso del refrigerante al compresor mycom.....	88
Tabla4.7	ILCSA: Cambios de exergía y eficiencia de la 2ª ley de los dispositivos del sistema de refrigeración de amoniaco.....	90
Tabla4.8	ILCSA: Niveles de iluminación actuales en áreas de producción.....	98
Tabla4.9	ILCSA: Características línea principal red de vapor.....	118
Tabla4.10	ILCSA: Características líneas de suministros red de vapor.....	119
Tabla4.11	ILCSA: Características de la red de distribución de aire.....	137
Tabla4.12	ILCSA: Mediciones para calcular las fugas en la red de aire comprimido.....	141
Tabla5.1	ILCSA: Propiedades del refrigerante con COP propuesto.....	168
Tabla5.2	Categoría de servicio para protección de motores.....	176
Tabla5.3	Iluminación media de locales en lux.....	181

Tabla5.4	Valores típicos de mínimo exceso de O ₂ a carga nominal.....	188
Tabla6.1	ILCSA: Ahorros energéticos y económicos en el sistema de refrigeración con amoníaco.....	210
Tabla6.2	Defectos en motores eléctricos.....	211
Tabla6.3	ILCSA: Ahorros económicos en electricidad.....	213
Tabla6.4	ILCSA: Ahorros energéticos y económicos en sistema de vapor.....	218
Tabla6.5	ILCSA: Ahorros económicos en sistema de aire comprimido	219
Tabla6.6	ILCSA: Ahorros energéticos y económicos totales en sistemas auditados	220
Tabla6.7	ILCSA: Inversión en activos fijos.....	221
Tabla6.8	ILCSA: Inversión en activo diferido.....	222
Tabla6.9	ILCSA: Inversión total en activo fijo y diferido.....	222
Tabla6.10	ILCSA: Costos de operación.....	223
Tabla6.11	ILCSA: Depreciación y amortización de activo fijo y diferido.....	224
Tabla6.12	ILCSA: Estado de pérdidas y ganancias.....	225
Tabla6.13	ILCSA: Ingresos y egresos traídos a valor presente.....	228

FIGURAS

Figura 1.1	Modelos de sistemas de administración.....	3
Figura 2.1	Esquema de una máquina térmica que opera entre una fuente de alta temperatura (T_H) y una fuente de baja temperatura (T_L) o sumidero.....	10
Figura 2.2	Sistema donde se puede realizar una auditoría energética.....	16
Figura 2.3	Diagrama de Sankey de un proceso de combustión.....	25
Figura 3.1	Diagrama de flujo del proceso de pasteurización de Industria Lechera Carchi S.A.....	31
Figura 3.2	Báscula para el pesaje de la leche.....	32
Figura 3.3	Recipiente de almacenamiento provisional.....	32
Figura 3.4	Intercambiador de placas para el preenfriado de la leche cruda.....	33
Figura 3.5	Pasteurizador utilizado en ILCSA. Es un intercambiador de placas de tres niveles, 2 de calentamiento y uno de enfriamiento.....	34

Figura 3.6	Descremador o centrífuga utilizado en ILCSA.....	34
Figura 3.7	Homogenizador utilizado en ILCSA.....	35
Figura 3.8	Tanque de 10000 litros.....	36
Figura 3.9	Tanque de 8000 litros.....	36
Figura 3.10	Máquina Prepac. Enfundadora del producto.....	38
Figura 3.11	Esquema de preenfriado y enfriado de leche.....	43
Figura 3.12	Compresor alternativo para amoniaco marca Mycom.....	44
Figura 3.13	Banco de hielo y evaporador para amoniaco.....	45
Figura 3.14	Caldera marca Continental para la producción de vapor.....	49
Figura 3.15	Caldera marca York Shipley para la producción de vapor.....	50
Figura 3.16	Esquema de distribución de vapor y retorno del condensado.....	51
Figura 3.17	Esquema de distribución de aire comprimido.....	53
Figura 3.18	Compresor de 13.5 HP, fuente principal de aire comprimido.....	54
Figura 3.19	Esquema de distribución del agua en Industria Carchi.....	57
Figura 3.20	Bombas utilizadas para la distribución de agua fría.....	58

Figura 4.1	Esquema de reparto de consumos del sistema de refrigeración con amoniaco.....	62
Figura 4.2	Dimensiones del banco de hielo.....	72
Figura 4.3	Analogía eléctrica pared A del banco de hielo.....	73
Figura 4.4	Triángulo de potencias.....	92
Figura 4.5	Triángulo de potencias del sistema trifásico de distribución de energía eléctrica de Industria Lechera Carchi S.A.....	94
Figura 4.6	Equipo necesario para el análisis de los gases de combustión.....	100
Figura 4.7	a. Medición del porcentaje de CO y b)medición del número de humo	100
Figura 4.8	SD Meter para la medición de sólidos disueltos en el agua de la caldera, agua de alimentación, agua de reposición y condensado.....	101
Figura 4.9	Balance de energía en la caldera.....	104
Figura 4.10	Balance de SDT en la caldera.....	105
Figura 4.11	Analogía eléctrica tramo horizontal 2-3.....	120
Figura 4.12	Analogía eléctrica tramo vertical 4-5.....	127
Figura 4.13	Diagrama de energía de caldera York shipley.....	132
Figura 4.14	Diagrama de exergía de caldera York Shipley.....	133

Figura 4.15	Balance de SDT en el tanque de alimentación de la caldera.....	134
Figura 4.16	Esquema red de aire comprimido.....	140
Figura 5.1	Medidas para reducir el consumo energético en el sistema de refrigeración de amoníaco de ILCSA.....	152
Figura 5.2	Analogía eléctrica propuesta para el banco de hielo de ILCSA con lana de vidrio.....	156
Figura 5.3	Medidas para el mejoramiento del sistema de energía eléctrica de Industria Lechera Carchi	170
Figura 5.4	Relación entre el porcentaje de CO ₂ , O ₂ y exceso de aire.....	188
Figura 5.5	Diagramas T-s de la caldera actual y propuesto.....	193
Figura 6.1	Indicadores económicos.....	229

NOMENCLATURA

C	Calor de combustión.
c_p	calor específico, [kJ / kg K].
$\dot{}$ (punto)	Cantidad por unidad de tiempo.
B/C	Beneficio costo.
R_U	Constante universal de gases, [kJ / kmol K].
U_{cv}	Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W / m ² K]
U_r	Coeficiente de transferencia de calor por radiación, [W / m ² K]
COP	Coefficient Of Performance (Coeficiente de desempeño).
β	Coeficiente de expansión volumétrica, [K ⁻¹]
k	Conductividad térmica de un material, [W / m K].
σ	Constante de Steffant Boltzman, [W / m ² K ⁴].
D	Flujo de vapor fugado por unidad de tiempo, [kg _{vapor} / h]
Φ	Diámetro, [mm]
fg	Diferencia en las propiedades de vapor saturado y líquido saturado.
ψ	Disponibilidad o exergía específica, [kJ / kg].
δ	Densidad, [kg / m ³]
$C_{12}H_{26}$	Dodecano.
η_t	Eficiencia térmica.
h	Entalpía específica, [KJ / kg].
s	Entropía específica, [kJ / kg K].
i	Estado de una sustancia al entrar a un volumen de control.
e	Estado de una sustancia al salir de un volumen de control.
FNE	Flujo Neto Efectivo, [usd].
f	Formación.

gen	Generación.
E	Iluminación media de un local, [lux].
m	masa, [kg].
n	Número de moles, [kmol].
Nu	Número de Nusselt
G_r	Número de Grashof
P_r	Número de Prandt.
M	Peso molecular, [kg / kg K].
PCS	Poder Calorífico Superior de un combustible, [kJ / gal].
P_T	Potencia activa total, [kW].
S_T	Potencia aparente total, [kVA]
Q_T	Potencia reactiva total, [kVAr].
0	Propiedades en la condición del estado muerto (medio ambiente).
f	Propiedad del líquido saturado.
P	Productos de una reacción química.
v	Propiedad del vapor saturado.
_ (barra)	Propiedad referida por unidad de mol.
o (circulo)	Propiedad en el estado de referencia estándar.
R	Reactivos de una reacción química.
rev	Reversible.
SDT	Sólidos Disueltos Totales.
TIR	Tasa de Retorno Interna, [%].
T	Temperatura, [°C ó °F]
w	Trabajo por unidad de masa, [kJ / kg]
W	Trabajo total, [kJ].
q	Transferencia de calor por unidad de masa, [kJ / kg].

Q	Transferencia de calor total, [kJ].
TR	Tonelada de refrigeración.
VR	Valor Residual, [usd].
ΔP	Variación de presión, [KPa].
VAN	Valor Actual Neto, [usd].

ANEXOS

Anexo A	Planos actuales de Industria Lechera Carchi S.A.....	242
Anexo B	Recolección de datos de sistemas auditados en Industria Lechera Carchi S.A.....	243
Anexo C	Graficas y tablas para el análisis del sistema de refrigeración con amoniaco.....	244
Anexo D	Cálculo del factor de potencia y potencia activa total de los receptores de energía eléctrica e iluminación media actual en Industria Lechera Carchi S.A.....	245
Anexo E	Tablas, selección calibre del conductor, selección contactor electromagnético para los receptores de electricidad y número de lámparas por áreas de Industria Lechera Carchi S.A.....	246
Anexo F	Tablas de propiedades para el análisis del sistema de generación y distribución de vapor.....	247
Anexo G	Pérdidas de calor en el sistema de generación y distribución de vapor actual y propuesta	248
Anexo H	Cálculo de trabajo máximo y de la exergía en el sistema de generación y distribución de vapor.....	249

Anexo I	Gráficas y tablas para el análisis del sistema de distribución de aire comprimido.....	250
Anexo J	Planos propuestos para Industria Lechera Carchi S.A.....	251
Anexo K	Cantidad y costo del aislante para el sistema de distribución de vapor de ILCSA.....	252
Anexo L	Costos del proyecto de factibilidad.....	253
Anexo M	Costos de operación.....	254
Anexo N	Cronograma de inversiones.....	255
Anexo O	Carta de satisfacción por parte de Industria lechera carchi S.A.....	256

RESUMEN

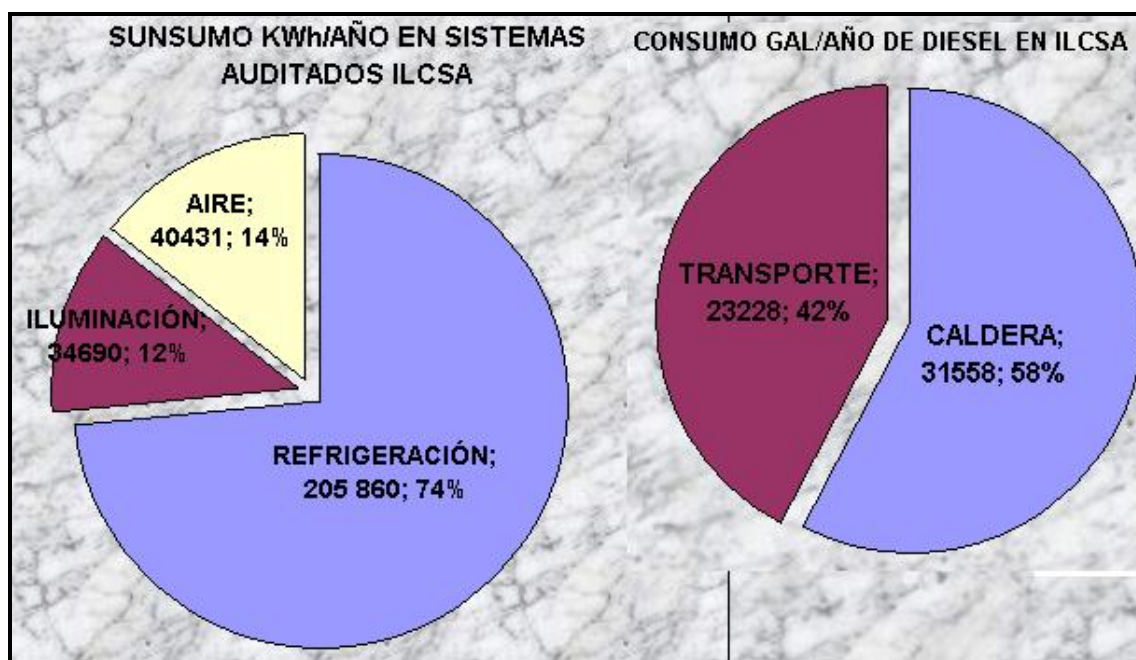
La elevación constante del rigor técnico en el trabajo es sin lugar a dudas una de los objetivos perseguidos en Industria Lechera Carchi, consciente de la necesidad de lograr mejoras en los consumos energéticos, que conduzcan a su aprovechamiento óptimo por medio de análisis de los rendimientos en los equipos consumidores y la adopción de medidas técnico-organizativas que permitan lograr ahorros considerables de los portadores energéticos.

La Auditoria Exergética que se ejecutó en Industria Lechera Carchi S.A, ubicada en la Provincia del Carchi, en la Ciudad de Tulcán; con el objetivo de obtener resultados cuantificados se realizó a partir de métodos y cálculos uniformes y sobre bases técnicamente fundamentadas, aplicándolos en los diferentes sistemas consumidores de energía tales como: Refrigeración (banco de hielo), Electricidad, Generación y Distribución de Vapor, Aire Comprimido. Lo anterior se enriqueció con los criterios y sugerencias sobre la base de la experiencia de personas ligadas a la empresa (Departamento de mantenimiento principalmente) y otras ligadas al sector académico (Directores del proyecto, expertos en auditorías energéticas). En este sentido se contrató los servicios de Cenerin (Conservación de la Energía en la Industria) para el monitoreo de los gases de combustión y la calidad del agua de alimentación, retorno del condensado y del agua de la caldera.

Industria Lechera Carchi S.A, fundada en el año de 1964, es la decana de la producción láctea en la Provincia. Esta prestigiosa empresa actualmente tiene una situación financiera holgada debido al crecimiento de otras empresas lácteas, a la disminución del mercado de consumo y al uso irracional de los recursos energéticos. Esta empresa procesa anualmente unos 7 300 000 litros de leche para lo cual incurre en un costo energético (combustible diesel y electricidad) de 87297 usd, cantidad considerable considerando el tamaño de la empresa. Es por lo anterior, que se ha buscado por parte de los directivos de la empresa medios o formas para reducir estos costos energéticos. Por lo tanto,

la importancia de la presente auditoría exergética radica en proponer medidas de ahorro energético en los sistemas auditados, mediante la implementación de buenas prácticas energéticas en la empresa con baja o nula inversión; mejoras en el rendimiento de los equipos y la mejor utilización de los recursos y las instalaciones existentes.

Industria Carchi compra a la Estatal Emelnorte toda la energía eléctrica para el funcionamiento de sus sistemas. El combustible es comprado a Servicentro Carchi de la ciudad de Tulcán, el cual es utilizado en las calderas y para transporte. La forma de distribuir la energía eléctrica y el combustible en los sistemas auditados en Industria Carchi se indica en la siguiente figura:



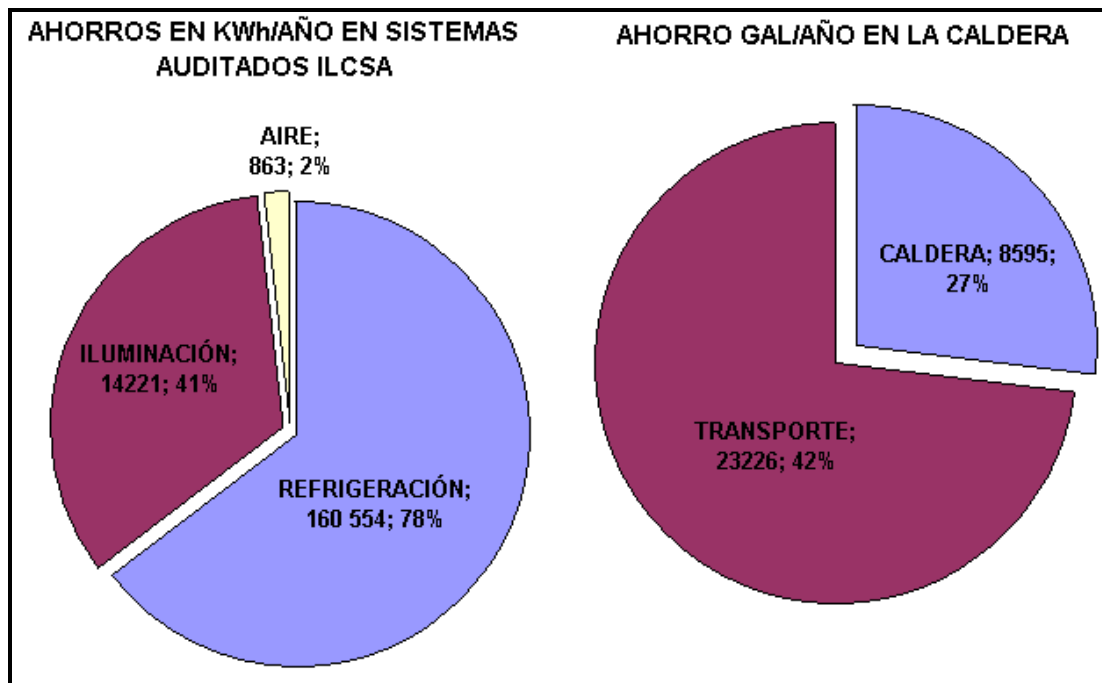
Por lo tanto, los objetivos de la presente auditoría se orientan a un análisis de la situación actual en lo referente a: obtener un conocimiento del verdadero consumo de energía, conocer el desempeño térmico, detectar oportunidades de ahorro de energía, estudiar las distintas oportunidades de ahorro de energía en función de su rentabilidad, en los sistemas de:

- Sistema de refrigeración de amoníaco (banco de hielo).

- Sistema de distribución de energía eléctrica (receptores de electricidad, factor de potencia, iluminación)
- Sistema de generación y distribución de vapor.
- Sistema de aire comprimido.

Luego de que se ha analizado detalladamente cada sistema identificando las posibles mejoras energéticas y las inversiones a realizar para conseguir los beneficios esperados, se evalúa la factibilidad del proyecto a través de indicadores económicos como el VAN, el TIR, el análisis beneficio/costo y el periodo de retorno de la inversión, determinándose de esta forma que el proyecto es económicamente rentable.

Los ahorros obtenidos al implementar las propuestas hechas en esta auditoría para los diferentes sistemas auditados se presentan en la figura siguiente, con su respectivo porcentaje en ahorro respecto al estado actual:



De las conclusiones que se obtuvieron al finalizar la auditoría energética la cual incluía un estudio exergético se destaca el hecho de que implementando las

mejoras propuestas para los diferentes sistemas auditadas se podrá reducir el consumo de energía en un 37% del costo actual (\$ 87297) que por energéticos tiene Industria Lechera Carchi, es decir se podrán ahorrar al año unos 32229 dólares. Pero, esto es viable si se lleva a cabo una gestión del mantenimiento correctivo y preventivo sobre todo para los equipos críticos de la planta, como lo son el banco de hielo y la caldera de marca York Shipley. Además la empresa tiene que enfocar sus esfuerzos a la capacitación del talento humano que posee con el único fin de poder ir logrando la mejora continua y alcanzar los objetivos organizacionales que urgentemente debe trazarse la empresa.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

En este capítulo se hace un análisis de la situación actual de la empresa, se define el problema a resolver haciendo una justificación e importancia del mismo. Se traza el objetivo general y objetivos específicos a alcanzar y se detalla el alcance que tendrá la auditoría energética.

1.1 ANTECEDENTES

Industria Lechera Carchi S.A con una superficie aproximada de 6279 m² según el plano actual de planta (código PAP-ILCSA 1, anexo A), inaugura su producción láctea en el año de 1964, llegando ha convertirse en una de las principales empresas en el ramo alimenticio de la Provincia del Carchi, generando de esta forma fuentes de trabajo para la localidad y promotora del desarrollo agro-industrial en la zona norte del país.

Industria Carchi tiene definido en sus instalaciones cuatro áreas: 1) Área de pasteurización, enfundado, almacenamiento y empaquetado de producto; 2) Área de yogurt; 3) Área de queso y 4) Área de máquinas. Los planos a escala de las áreas 1 y 2 se los puede mirar en el anexo A (código PPEAE-ILCSA 2) y las áreas 3 y 4 en el plano cuyo código es PQM-ILCSA3.

Industria lechera Carchi cuenta para la recolección de la materia prima (leche) en las distintas haciendas de la zona con tanqueros higiénicamente adecuados para el trabajo. Además, en su planta ubicada en la Av. Veintimilla y 24 de Mayo tiene la infraestructura adecuada para el

procesamiento (sistema HTST de pasteurización) y almacenamiento (tanques para leche) de la leche.

Por otro lado, para el reparto del producto terminado (leche pasteurizada, queso, yogurt) en la provincia y fuera de ella tiene camiones equipados para tal efecto.

Sin embargo, lo que en su época fue una gran empresa con un gran producto (que todavía lo sigue manteniendo en la actualidad) llegando a captar no sólo el mercado local (Tulcán) sino también nacional (Imbabura y Pichincha, principalmente), actualmente pasa dificultades no solo económicas, sino también de orden técnico-energético.

Si bien es cierto en los 43 años de vida de la empresa, se han realizado cambios en sus equipos reemplazando los obsoletos por nuevos o instalando más equipos, esto no se ha realizado con un estudio técnico-económico sino que se los ha hecho de acuerdo a las circunstancias, razón por la cual no se cuenta con un historial de cuantos máquinas o equipos después de haber trabajado aproximadamente medio siglo, se encuentran amortizados o requieren ser ya reemplazados. No se cuentan con estadísticas de funcionamiento ni de mantenimiento de la maquinaria existente en la planta y el mantenimiento correctivo está a la orden del día. Además, de que en la empresa no existe ni siquiera un área de mantenimiento ó una oficina donde se puedan hacer verdaderos programas de mantenimiento preventivo.

Si a la situación económica muy ajustada y dificultades técnicas que en la actualidad tiene la empresa, le añadimos que la competencia cada vez tiende a ganar más terreno en el sector lácteo y que ésta cuenta con maquinaria más moderna, controles estrictos de calidad, normas en seguridad e higiene industrial, etc. Es indudable que el espacio que antes tenía Industria Carchi en el mercado ha decrecido y que esto ha mermado la capacidad de desarrollo y crecimiento de la empresa.

Se ha notado en la empresa la no existencia de una cultura industrial, en donde la inversión técnica sea el motor para la búsqueda de la mejora continua y en donde se piense que capacitar al talento humano sea el eje fundamental de unión entre los objetivos que persigue la empresa y las aspiraciones que como personas cada uno de los trabajadores tiene.

Las tendencias actuales nos obligan a volcar las expectativas hacia el obrero, a tratar de modelar sus valores y creencias para lograr cambiar su comportamiento acorde a los requerimientos de la organización, y de esta forma encaminar a los trabajadores y empresa hacia un fin común. No cabe duda que este hecho actualmente ha cobrado una gran importancia, ya que capacitar, tecnificar, educar, cambiar creencias y valores errados en los trabajadores, hará de éstos mejores personas y colaboradores de la empresa y por consiguiente la organización poco a poco irá adquiriendo calidad.

Además, la globalización nos exige que las empresas deben manejar una visión y misión de conjunto, y que esta debe ser comunicada a los trabajadores y asegurarse de que fue comprendida en su totalidad, esto ayudará a entender al obrero de que es lo que quiere la empresa de él, sus obligaciones y recompensas.

Pero todo lo anteriormente mencionado no se podría hacer si primero no se ve un cambio en la alta dirección de la organización y en donde, desechar esos viejos conceptos de que a la cabeza se encuentra la alta dirección (gerente), al medio la administración y a la cola los obreros y operadores, debe ser el punto de partido para aniquilar viejas tendencias organizativas. No cabe duda que lo anterior es parte fundamental del cambio. Comprendiendo esto podemos emprender nuevos programas organizacionales, los cuales serán la pauta fundamental para querer implantar cualquier cambio en la empresa por pequeño que este sea.

En la Fig1.1 se indica dos sistemas de administración, el del lado izquierdo en donde implantar cualquier cambio en una empresa se hace casi imposible por tener una estructura cerrada, y el del lado derecho en donde se toma en cuenta la opinión de todos los integrantes de la organización.

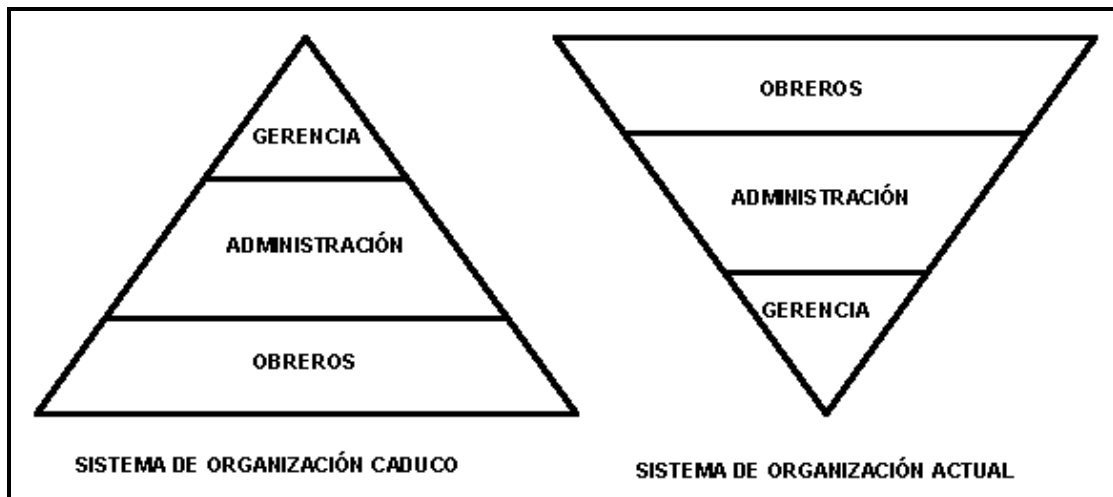


FIG1.1. MODELOS DE SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN

De lo anterior se puede deducir claramente que la situación actual de la empresa es neurálgica y que no implementar en la empresa: verdaderas normas y áreas de trabajo donde éstas funcionen al unísono con los objetivos que urgentemente debe trazarse la empresa, cambios que conlleven al uso racional de los recursos energéticos, hacer del obrero un socio de la misma donde este tenga tanto obligaciones como beneficios y donde este sienta que debe trabajar no porque debe sino porque le gusta hacer su trabajo, puede tender a que la empresa desaparezca con el tiempo. Pues, la tendencia actual de la nuevas organizaciones esta en absorber a las demás no por tamaño, sino por tener una actitud enorme de cambio con las nuevas exigencias que exige este mundo globalizado.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el apartado anterior se manifestó que si bien la empresa había reemplazado equipos que ya estaban obsoletos, esto se había realizado sin un estudio previo y de acuerdo a las circunstancias que tenía la empresa, que además no se cuenta con registros de mantenimiento ni de operación de la maquinaria existente en la planta y que la tecnificación de la gente se había dejado de un lado. Esto ha provocado que hoy la empresa tenga una liquidez muy holgada y que se estén buscando alternativas para reducir costos de producción.

Esto nos da la pauta para que se busquen sistemas o maquinaria en donde se puede estar perdiendo energía y poder proponer soluciones para el mejoramiento de dichos equipos o sistemas.

Debido a que los recursos energéticos utilizados en Lechera Carchi y en toda empresa, están estrechamente ligados con la producción se pretende reducir estos costos en un 5% a través de una auditoría energética que contemple también un estudio exergético.

Ahora bien, como punto de partida tenemos que Lechera Carchi para pasteurizar 7 300 000 litros de leche anuales y convertirlos en sus diferentes productos (leche en funda, quesos y yogurt, principalmente), incurre en costos energéticos en una cantidad de 87297,54 USD al año. Esto nos servirá para determinar el costo específico de recursos energéticos por cada litro de leche procesada. Este indicador que tiene un valor de 0.0119 USD/litro de leche pasteurizada será la pauta de que las mejoras energéticas a proponerse si son acogidas y puestas en práctica continuamente, nos darán un comportamiento hacia la disminución de este valor, permaneciendo constante la producción.

Además, se pretende crear en la gente que conforma la empresa, una verdadera concientización del uso de recursos energéticos a través de un proyecto de optimización de la energía que involucre a toda la organización. Se pretende desarrollar en la empresa una verdadera o iniciar al menos un programa de cultura industrial que incluya fundamentalmente la capacitación del talento humano que conforma la empresa.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Actualmente la energía condiciona nuestras vidas e incluso la política internacional, y es el principal factor de degradación ambiental.

Hoy dependemos en un 80% de los combustibles fósiles para resolver la inmensa mayoría de nuestras necesidades, lo que permite gozar en las zonas ricas de un alto nivel de vida, pero con consecuencias cada vez más apreciables, desde los problemas de suministro, causa de

buena parte de los conflictos del último medio siglo (Irak, Irán, Kuwait), a la amenaza del cambio climático o la realidad cotidiana de la contaminación atmosférica.

La producción, transformación y consumo de energía representa cerca del 82% de las emisiones de gases de invernadero, además del 77% de las emisiones de sustancias que contribuyen a la formación del contaminante ozono troposférico (Troposfera¹), el 66% de las sustancias que ocasionan las lluvias ácidas, el 81% de las emisiones de partículas e importantes emisiones de metales pesados (mercurio, plomo y cadmio). Pero los impactos no se reducen a la emisión de sustancias contaminantes, pues incluyen también la generación de todo tipo de residuos a lo largo de todo el ciclo de extracción, transformación y consumo, los vertidos accidentales de petróleo (no olvidemos el Prestige²), el consumo de agua, la degradación a veces irreversible de los ecosistemas, el ruido y el deterioro de los paisajes, etc.

La intensidad energética del sector industrial ha convertido este rubro en una importante estructura de costos en las empresas. Las industrias utilizan la energía básicamente para tres aplicaciones: calentamiento o enfriamiento, fuerza motriz y generación de vapor, entonces debido a las grandes cantidades de combustible fósiles y energía eléctrica que se consumen para estos fines, es importante disminuir lo más que se pueda estos consumos con el único fin de abaratar costos de producción y disminuir la contaminación ambiental.

En estos días, un estudio de optimización del uso de la energía es una necesidad de cualquier tipo de empresa que desee mantenerse en el mercado. No solo para tener una ventaja competitiva sobre sus similares, sino para evitar la destrucción de este planeta.

Hacer un uso eficiente de la energía surge hoy más que nunca, como un requisito más que económico, moral, de todos los habitantes del planeta, pues esto contribuirá a dejar a nuestras futuras generaciones un lugar donde vivir, pues de nada nos valdrá tener autos más eficientes o teléfonos más modernos, si no tendremos donde disfrutarlos.

Teniendo como premisa lo anterior, este proyecto contribuirá con un granito de arena para mejorar el uso de los recursos energéticos en Industria Lechera Carchi de la Ciudad de Tulcán, anhelando además que este trabajo sea el primero de muchos que posiblemente se realicen en un futuro en la Provincia. Justificándose su importancia, en que toda propuesta de mejoramiento energético que se haga, será traducida al lenguaje de lo económico, para que los altos ejecutivos de la empresa tengan más indicios para implantar el proyecto de factibilidad de las mejoras energéticas que deben realizarse en Lechera Carchi, con el fin de aminorar los costos de producción.

¹ Capa interior de la atmósfera terrestre, de unos 8-14 km de espesor, en la que se producen la mayor parte de los fenómenos meteorológicos que determinan el clima.

² El Prestige fue un buque petrolero que cargado con 77000 toneladas de fuel se hundió frente a las costas españolas en el 2002 y produjo una inmensa marea negra que afectó a una amplia zona comprendida desde el norte de Portugal hasta las landas de Francia, teniendo especial incidencia en Galicia. Todo esto afectó a gran cantidad de especies marinas de la zona.

Se espera que este proyecto sea acogido con la mayor predisposición por parte de los directivos de Industria Lechera Carchi y no quede como un proyecto aislado, ya que finalmente esto es una forma de hacer algo por la Provincia.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Elaborar el proyecto de optimización del uso de la energía para las instalaciones de Industria Lechera Carchi S.A, mediante una auditoría energética que incluya un estudio exergético

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Obtener un conocimiento del verdadero consumo de energía en la empresa.
- Conocer el desempeño térmico de los sistemas con los que cuenta la empresa.
- Detectar las oportunidades de ahorro de energía.
- Estudiar las distintas oportunidades del ahorro de energía, en función de su rentabilidad.
- Establecer costos de consumo de energía y desperdicio antes y después de la auditoría.

1.5 ALCANCE

La producción de frío (agua fría) y vapor en la empresa son fundamentales para dadas las características del proceso de pasteurización.

En el sistema de enfriamiento de agua se analizará el coeficiente de operación COP, se determinará los rangos de presión y temperatura óptimos del refrigerante (NH_3) en los cuales se obtienen menores consumos de energía. Además se calcularán pérdidas de energía que se tiene en el banco de hielo de la empresa, debido al tipo de aislamiento utilizado en las paredes.

En cuanto tiene que ver a la producción de vapor se realizara un estudio de emisiones gaseosas en la caldera York Shipley con el fin de obtener la ecuación química de proceso de combustión, y poder determinar con que exceso de aire se encuentra trabajando la caldera, además se calculará la eficiencia del generador de vapor y se efectuará un estudio de la disponibilidad del proceso de combustión. También se determinará un nivel de purga óptimo mediante un análisis de las aguas de la caldera, de alimentación y retorno del condensado.

Además se calcularán las pérdidas de energía en la red de distribución de vapor, puesto que algunas tuberías de suministro de vapor no se encuentran aisladas.

En cuanto a la energía eléctrica que consume la planta, se establecerán las características de un nuevo sistema de distribución eléctrica en las distintas áreas productivas de la empresa, debido a que la distribución eléctrica está en mal estado, para lo cual se realizarán planos del sistema eléctrico actual y se propondrá uno que conlleva un uso racional de la energía. Además se evaluará el factor de potencia actual de la empresa, proponiendo alternativas para su mejoramiento.

La distribución del aire cumple la función de liberar al trabajador de ciertas tareas penosas y de agilizar la producción tanto de yogurt, queso y el enfundado de producto. En este sistema se determinarán las pérdidas que se tienen en la en las líneas de aire comprimido, se analizará el porcentaje de fugas en la red de aire y la ubicación de los compresores.

El agua para su transporte a los diferentes destinos de consumo requiere ser bombeado por lo que esta tendrá su costo en energía eléctrica.

Por último se propondrán alternativas tradicionales o novedosas, para el mejoramiento de los sistemas nombrados anteriormente, haciendo una evaluación económica financiera y ordenándolas en función de su rentabilidad y recuperación en el tiempo.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene la teoría necesaria para la elaboración de la auditoría exérgica en la Industria Carchi de Tulcán. En él se define el balance de energía, la exérgia, trabajo reversible, irreversibilidad. Además se presenta un panorama sobre las auditorías exérgicas, sus beneficios, auditoría exérgica preliminar y definitiva. Por último se ilustra los diagramas de Sankey y su importancia en la distribución de energía dentro de un proceso.

2.1 BALANCE DE ENERGÍA

Debido a que la energía no se crea ni se destruye, solo cambia de forma, cada cantidad de energía por pequeña que sea debe justificarse durante un proceso. Además, esta energía posee una calidad, por lo cual debe cuidarse de que en los procesos reales no disminuya la calidad de esta, a valores indeseables..

En este sentido, el balance de energía considera la aplicación de la primera y segunda ley de la termodinámica para ciclos o procesos termodinámicos en donde la sustancia permanece constante (sistemas cerrados, masa fija) o fluye a través de un volumen de control (sistema abierto, flujo másico) con el objetivo de evaluar tanto en cantidad como en calidad, la energía utilizada en dicho proceso.

Ahora bien, los equipos que operan bajo un ciclo termodinámico se llaman máquinas térmicas (figura 2.1) y convierten el calor en trabajo usando dispositivos especiales, de la siguiente forma:

- Reciben calor Q_H de una fuente de alta temperatura (T_H).
- Convierten parte de este calor en un trabajo neto.
- Rechazan el calor de desecho (Q_L) en un sumidero a baja temperatura (T_L).
- Operan en un ciclo.

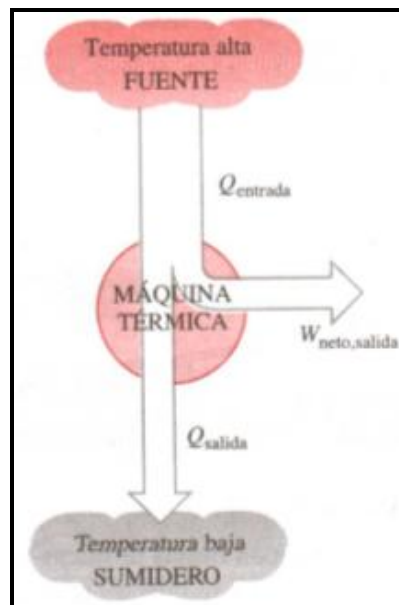


FIGURA 2.1. ESQUEMA DE UNA MÁQUINA TÉRMICA QUE OPERA ENTRE UNA FUENTE DE ALTA TEMPERATURA (T_H) Y UNA FUENTE DE BAJA TEMPERATURA (T_L) O SUMIDERO.

Este ciclo debe cumplir con la primera y segunda leyes de las termodinámicas, cuyas expresiones las podemos ver en las ecuaciones 2-1 y 2-2, respectivamente:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \quad (2-1)$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (2-2)$$

En esencia la primera ley es una expresión de la conservación de la energía, conocida también como balance de energía. El balance de masa y energía generales para cualquier sistema que experimenta cualquier proceso se puede expresar como:

$$\underbrace{E_{\text{Entrada}} - E_{\text{Salida}}}_{\text{Transferencia neta de energía por calor, trabajo, y masa}} = \underbrace{\Delta E_{\text{Sistema}}}_{\text{Transferencia neta de energía por calor, trabajo, y masa}} \quad [\text{kJ}] \quad (2-3)$$

Durante un proceso de flujo estable, el contenido de energía total de un volumen de control permanece constante ($E_{vc}=\text{constante}$); por lo tanto, el cambio en la energía total del volumen de control es cero ($\Delta E_{vc}=0$). En consecuencia, la cantidad de energía que entra a un volumen de control en todas las formas (calor, trabajo y masa) debe ser igual a la cantidad de energía que sale. Entonces, la ecuación 2-3 se reduce para un proceso de flujo estable a:

$$\underbrace{E_{\text{Entrada}} - E_{\text{Salida}}}_{\text{Transferencia neta de energía por calor, trabajo, y masa}} = 0 \quad [\text{kJ}] \quad (2-4)$$

En vista de que la energía se puede transferir por calor, trabajo y masa solamente, el balance de energía en la ecuación 2-4 para un sistema general de flujo estable se puede escribir de manera explícita como:

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} + \dot{W}_{\text{entrada}} + \sum_{\text{entrada}} \dot{m} \underbrace{\left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{por cada entrada}} = \dot{Q}_{\text{salida}} + \dot{W}_{\text{salida}} + \sum_{\text{salida}} \dot{m} \underbrace{\left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{por cada salida}} \quad (2-5)$$

Donde:

$Q \rightarrow$ Calor de entrada o salida por unidad de masa.

$W \rightarrow$ Trabajo de entrada o salida por unidad de masa

$m \rightarrow$ cantidad de masa que fluye por el sistema.

$h, V^2/2, gz \rightarrow$ Energía del fluido en movimiento por unidad de masa.

Para sistemas reactivos (proceso que implica reacciones químicas) de flujo estable en donde los cambios en energía cinética y potencial son insignificantes, la relación de balance de energía se puede expresar como:

$$\dot{Q}_{\text{ent.}} + \dot{W}_{\text{ent.}} + \sum_{\text{reactivos}} \dot{n}_r \left(\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ} \right) = \dot{Q}_{\text{sal.}} + \dot{W}_{\text{sal.}} + \sum_{\text{productos}} \dot{n}_p \left(\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ} \right) \quad (2-6)$$

Donde:

$Q \rightarrow$ Calor de entrada o salida por unidad de masa.

$W \rightarrow$ Trabajo de entrada o salida por unidad de masa

n → Relaciones de flujo molares

\bar{h}_f^0 ; \bar{h} ; \bar{h}^0 → Entalpía de formación en el estado de referencia estándar (1 atm, 25 °C); entalpía sensible en el estado especificado y entalpía sensible en el estado de referencia estándar (25°C, 1 atm), respectivamente.

2.2 CONCEPTO DE EXERGÍA

La exergía, también llamada disponibilidad (availability) o energía disponible, se define como el trabajo útil máximo que puede obtenerse de un sistema en un estado y ambiente especificados y es una medida de la calidad de la energía involucrada en el proceso.

La exergía, parte de la energía que puede convertirse en trabajo mecánico, fue descubierta en la termodinámica casi desde sus orígenes formales, con el nombre de "trabajo disponible" de un fluido o masa. Hoy en día cobra una enorme importancia, debido a:

- La exergía, es la medida cuantitativa de la máxima cantidad de trabajo que puede obtenerse de un desequilibrio entre un sistema físico y el ambiente que lo rodea o entorno, determinando cuantitativamente el valor termodinámico de cualquier recurso.
- La exergía permite analizar rigurosamente el desperdicio de los recursos en las actividades de una sociedad, estableciendo pautas cuantitativas para su ahorro y uso eficiente.

El método de Exergía es una manera sistemática de aplicar los principios de la primera y segunda leyes de la termodinámica, a procesos y equipos industriales. Sus fundamentos están inmersos en los principios de la producción de entropía dados por la segunda ley de la termodinámica.

Por consiguiente se concluye que un sistema entrega el máximo trabajo posible cuando experimenta un proceso reversible del estado inicial especificado al estado de su ambiente, es decir, el estado muerto. Esto representa el potencial de trabajo útil del sistema en el estado especificado y se llama exergía.

Es importante comprender que la exergía representa el límite superior en la cantidad de trabajo que un dispositivo puede entregar sin violar cualquier ley termodinámica. Por lo tanto, habrá siempre una diferencia grande o pequeña, entre la exergía y el trabajo real entregado por un dispositivo, diferencia que representa lo que los ingenieros tienen la posibilidad para la mejorar.

Para evaluar el contenido de energía en proceso de flujo estable, considerando una sustancia a la presión P, temperatura T, velocidad V y situado a una altura z, ¿Qué trabajo útil será posible

obtener de este sistema al realizar un proceso?, la respuesta se tiene cuando la sustancia establezca el equilibrio con el medio ambiente, es decir, temperatura t_0 , presión p_0 , velocidad y altura cero. Al valor desarrollado bajo estas condiciones se conoce como exergía o disponibilidad. Si se le asigna con el símbolo Ψ , se puede calcular la exergía específica mediante la ecuación siguiente:

$$\psi = \left(h + \frac{V^2}{2} + zg - T_0 s \right) - (h_0 + z_0 g - T_0 s_0) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2-7)$$

En general, se acepta la exergía como medida de la calidad de la energía, su capacidad para producir trabajo, es decir, su potencial para transformarse en otros tipos de energía, y por consiguiente la exergía puede aplicarse al estudio de procesos tecnológicos además de plantas de energía, ciclos termodinámicos y máquinas térmicas (figura 2.1). Debido a que este tipo de máquinas operan entre una fuente de alta temperatura (T_H) y el ambiente (T_0), la disponibilidad o exergía del ciclo es el trabajo máximo, expresado como:

$$W_{\max} = \eta_{\text{termica}} * Q_H = \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right) * Q_H \quad (2-8)$$

2.2.1 TRABAJO REVERSIBLE

Un proceso reversible es aquel que se puede invertir sin dejar ningún rastro en los alrededores. Es decir, tanto el sistema como los alrededores vuelven a sus estados iniciales una vez finalizado el proceso inverso.

En este contexto, el trabajo reversible W_{rev} se define como la cantidad máxima de trabajo útil que se puede producirse (o el trabajo mínimo que necesita ser proporcionado) cuando un sistema experimenta un proceso entre los estados inicial y final especificados. Esta es la salida útil (o entrada) obtenida (o gastada) cuando el proceso entre los estados inicial y final se ejecuta de una manera totalmente reversible.

Cuando el estado final es el estado muerto, el trabajo reversible es igual a la exergía. Para procesos que requieren trabajo, el trabajo reversible representa la cantidad de trabajo mínima necesaria para llevar a cabo ese proceso.

Para calcular el trabajo reversible asociado a un proceso de estado y flujo estable se utiliza la siguiente expresión:

$$W_{\text{rev}} = \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + z_i g - T_0 s_i \right) - \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + z_e g - T_0 s_e \right) \quad [\text{KJ / Kg}] \quad (2-9)$$

También se tiene que el trabajo reversible por unidad de masa entre dos estados cualesquiera, es igual a la disminución de exergía (disponibilidad) entre estos estados:

$$W_{rev} = \Psi_i - \Psi_e \quad [KJ / Kg] \quad (2-10)$$

Las máquinas térmicas operadas en un ciclo totalmente reversible, como el Ciclo de Carnot, tienen la eficiencia térmica más alta de todas las máquinas térmicas que operan entre los mismos niveles de temperatura. Es decir, nadie puede desarrollar un ciclo más eficiente que el ciclo de Carnot.

Los ciclos ideales son internamente reversibles pero, a diferencia del Ciclo de Carnot, no es necesario que sean externamente reversibles. Es decir, pueden incluir irreversibilidades externas al sistema como la transferencia de calor debida a una diferencia de temperatura finita. Entonces, la eficiencia térmica de un ciclo ideal, por lo general, es menor que la de un ciclo totalmente reversible que opera entre los mismos límites de temperatura. Sin embargo, aun es considerablemente más alta que la eficiencia térmica de un ciclo real debido a las idealizaciones empleadas.

2.2.2 IRREVERSIBILIDAD

La irreversibilidad puede verse como el trabajo potencial desperdiciado o la oportunidad perdida para realizar trabajo. Representa la energía que podría haberse convertido en trabajo pero que no lo fue y esta asociada con el incremento de entropía. Por lo tanto, cuanto mayor es el grado de irreversibilidades, mayor resulta la generación de entropía.

Existen un número de factores tanto internos como externos que causan la irreversibilidad en los procesos de fluidos. La irreversibilidad interna se debe a la fricción interna en el fluido resultante de las fuerzas intermoleculares y a la turbulencia en el fluido. La irreversibilidad externa resulta de factores externos al sistema. Una de las causas más frecuentes de la irreversibilidad externa es la fricción mecánica entre superficies en contacto tales como en chumaceras y en las paredes de un cilindro. Otra es la transferencia de calor, la que por su naturaleza puede ocurrir sólo en una dirección, del foco de mayor temperatura al de menor temperatura.

Por otro lado, en dispositivos cíclicos y sistemas cuyas fronteras permanecen fijas durante un proceso como los recipientes rígidos y dispositivos de flujo estable (turbinas, compresores, toberas, intercambiadores de calor, bombas, etc) el trabajo útil será igual al trabajo real.

De lo anterior podemos decir que, cualquier diferencia entre el trabajo reversible W_{rev} y el útil W_u o real se debe a las irreversibilidades presentes durante el proceso, y esta diferencia se llama irreversibilidad, la cual se expresa como:

$$I = W_{rev\ sal} - W_{usal} \quad \text{o} \quad I = W_{rev\ ent} - W_{uent} \quad [\text{kJ}] \quad (2-11)$$

O por unidad de masa, se puede expresar como:

$$\text{Ciclo} \quad i = w_{max} - w_n \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2-12)$$

$$\text{Proceso} \quad i = w_{rev\ sal} - w_{usal} = T_0 s_{gen} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2-13)$$

Cuando una sustancia se somete a un proceso de flujo permanente de una sola corriente y que intercambia calor con sus alrededores, la irreversibilidad, se la determina mediante la expresión:

$$i = T_0 s_{gen} = T_0 \left[(s_e - s_i) + \frac{q_{air}}{T_0} \right] \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2-14)$$

2.3 DEFINICIÓN DE AUDITORÍA EXERGÉTICA

Una auditoría energética puede desarrollarse aplicando la primera ley de la termodinámica (principio de conservación de la cantidad de energía) o mediante el uso de la primera y segunda ley (la energía tiene tanto cantidad como calidad). Por lo tanto, una auditoría exergética es una valiosa herramienta para tener eficiencia energética en sistemas.

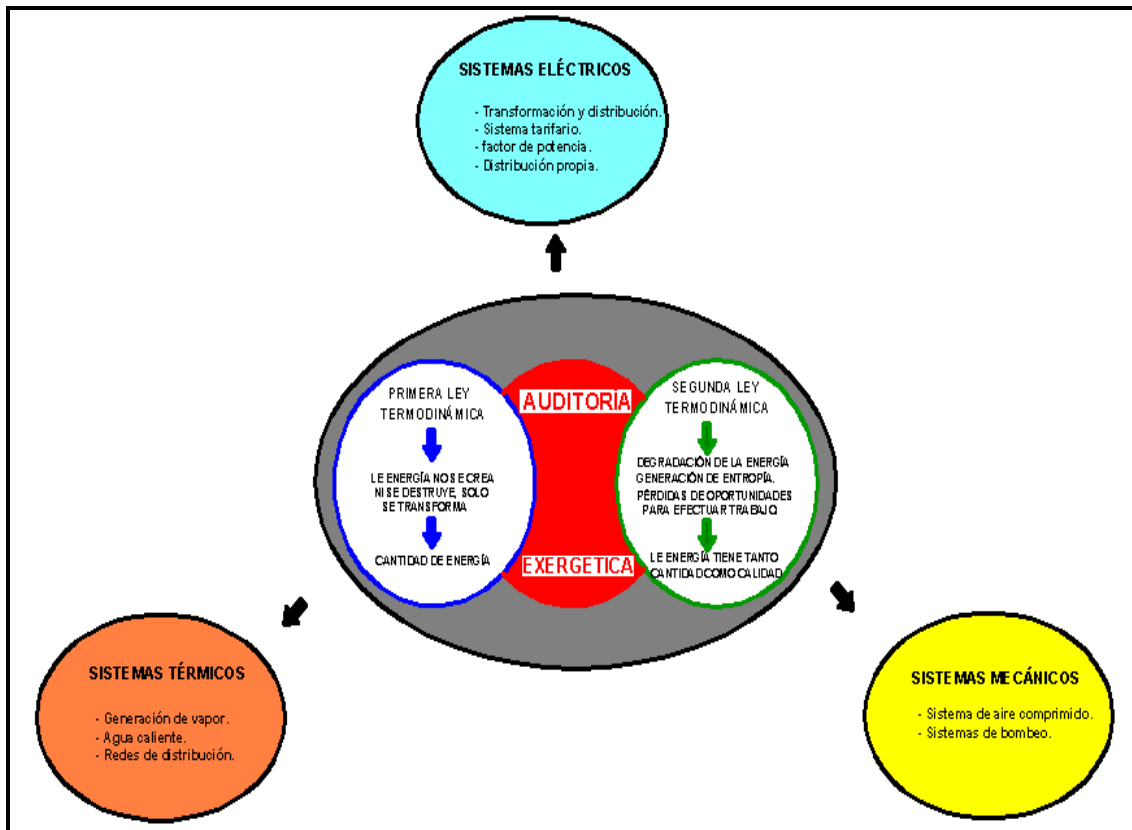


FIGURA 2.2 SISTEMAS DONDE SE PUEDE REALIZAR UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.

Desde el punto de vista termodinámico al primero se lo conoce como balance de energía en donde todas las energías son iguales, y sirve para cuantificar el total de energía presente en un proceso, sin considerar su calidad o posibilidad de transformación. Al segundo caso se lo conoce como auditoría exergética (método exergético) y como tal involucra los dos principios

El Método Exergético, que es una manera sistemática de aplicar conjuntamente los principios de la primera y segunda leyes de la termodinámica, a procesos y equipos industriales (sistemas térmicos, de aire comprimido, bombeo, sistemas eléctricos), tal como se muestra en la figura 2.2.

Sus fundamentos están inmersos en los principios de la producción de entropía dados por la segunda ley de la termodinámica (cantidad y calidad de la energía utilizada) en términos de energía. Éste análisis propone el uso del término empleado por Rant, Exergía (disponibilidad, energía útil o disponible), para una determinada forma de energía "Es la energía útil máxima que puede obtenerse de esa forma para unas condiciones de ambiente dadas y a la que se define como estado muerto ", es decir, es un procedimiento que compara, en cualquier proceso de transformación de energía, lo realmente obtenido, frente a lo, potencialmente máximo obtenible, mediante la aplicación de la segunda ley de la termodinámica.

El objetivo que se persigue con este tipo de análisis es, crear y utilizar un lenguaje energético susceptible de aplicarle argumentos económicos, se trataría de un lenguaje mixto entre termodinámica y economía, con términos de significado común.

Las auditorías exergéticas han mostrado ser una herramienta útil para la evaluación de la calidad de las transformaciones energéticas al permitir manejar las pérdidas (irreversibilidades) en unidades energéticas y no en unidades de entropía. Por otra parte, es aplicable a todo tipo de procesos, incluidos los no adiabáticos, superando así las restricciones del rendimiento isentrópico. Esto ha generalizado su uso en el análisis de diversos sistemas energéticos, especialmente en plantas de producción de potencia.

Las aplicaciones prácticas del análisis exergético no se limitan a casos particulares, sino que en un sentido global permiten fijar estrategias a nivel nacional e internacional en política energética, constituyéndose en una herramienta objetiva para hacer previsiones en el ámbito de la sostenibilidad y del impacto ambiental.

Debido a las ventajas anteriores el análisis exergético se ha vinculado al económico, posibilitando la optimización de sistemas energéticos. En este sentido el análisis exergético permite no sólo identificar dentro de un sistema energético complejo las irreversibilidades, sino también ordenarlas según su grado de ineficiencia, lo que permite focalizar las actuaciones en los puntos críticos.

Los cálculos realizados con parámetros exergéticos a menudo presentan dificultad en su interpretación, siendo frecuente encontrar en la literatura especializada artículos sobre fundamentos exergéticos, interpretación de los diferentes términos y planteamientos que tratan de ilustrar mejor los diferentes componentes del análisis exergético. Dentro de estos aspectos fundamentales se encuentra el papel que juega el ambiente en tanto estado muerto, es decir, origen de las exergías.

Como resultado de esto se pone de manifiesto que el ambiente, y más concretamente la energía que intercambia con él, juega un papel fundamental en las definiciones exergéticas que a menudo pasa desapercibido. Se muestra que si no se comprende adecuadamente este papel se pueden obtener interpretaciones totalmente erróneas del problema analizado.

En definitiva, las auditorías exergéticas son estudios técnico-económicos, cuyo objetivo fundamental es promover la eficiencia energética, mostrando áreas en donde puede reducirse el consumo de energía, sin afectar la cantidad y la calidad de la producción. Por ello son aplicables a cualquier empresa sea grande o mediana, de productos o servicios, e inclusive el hogar y la vida cotidiana.

Éste tipo de auditorías son potentes instrumentos que ayudan a comprender de mejor manera cómo se emplea la energía en la empresa, cuánto repercute en los costos, identificando las áreas en las cuales se pueden estar presentando desperdicios y en donde es posible hacer mejoras implementando medidas de ahorro que pueden ser sin costo, de costo reducido o de costo elevado. Para lo cual, se identifican aquellas opciones que sean más costo efectivas para mejorar la eficiencia energética de una facilidad específica. Las mismas que pueden ser llevadas a cabo de diferentes maneras dependiendo de la situación o necesidades de la

empresa, es decir, se evalúan las distintas oportunidades de ahorro en función de su rentabilidad.

Como conclusión se puede anotar que en término auditoría energética involucra a la auditoría exergética, cuando es necesario a un ciclo o proceso, realizarse un análisis además de la primera ley, del segundo principio de la termodinámica.

2.3.1 BENEFICIOS

Son claros los beneficios que presentan las auditorías energéticas a nivel empresarial y social, pero se debe tener claro que estas pueden y deben llevarse a cabo en cualquier tipo de empresas, desde las multinacionales hasta las PYMEs con un solo trabajador e, incluso, hasta en viviendas particulares. En este último caso, sería excesivo el tener que realizar la toma de datos, elaboración de planes de acción, etc., pero simplemente con cambiar hábitos, como optimizar la iluminación y maximizar el uso de luz natural, es decir, realizar una auditoría cualitativa del hogar puede resultar en ahorros de hasta el 30% de la factura de electricidad mensual.

Por otro lado, desde el punto de vista ambiental no se puede olvidar que este tipo de auditorías (promover la eficacia energética) son el modo más simple y económico de conseguir los objetivos de reducción de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, establecidos en relación con el cambio climático (calentamiento global), el cual es causante de inundaciones, alteraciones extremas de temperatura en invierno y verano, y hasta una posible vuelta a la era de hielo.

Este tipo de auditorías son procesos sistemáticos, mediante los cuales se pueden conseguir los siguientes beneficios:

- Optimización del consumo energético, lo que se traduce en una importante reducción de costos.
- Extendimiento del tiempo de vida útil de los equipos, ya que se asegura que estos trabajan en las condiciones más adecuadas, evitando sobredimensionamientos o sobrecargas.
- Utilización de la energía que se desecha en nuevos procesos o instalaciones.
- Mejoramiento de la competitividad de la empresa al reducirse los costos de producción.
- Reducción de desperdicios y despilfarro de energía e introducción de materiales y recursos que sean más eficientes en el uso de la misma.
- Mayor respeto y conservación del medio ambiente, ya que, al no consumirse más energía que la necesaria, se disminuyen las emisiones de CO₂, tanto en la planta como en la producción de la electricidad consumida.

- Influir en un cambio de cultura industrial, que se exporta a las familias de trabajadores y empleados, formando una imagen mejorada.
- Aumentar las simples medidas técnico-organizativas (no requieren inversión) que se deriven de este estudio y una disciplina consciente en la explotación de estos recursos, en breves plazos se obtienen ahorros significativos que superan con creces los costos de las auditorias energéticas.
- Concientización del gasto energético porque constituye un mecanismo para fomentar un ahorro, tanto en costo como en su utilización.
- Conocimiento de la distribución de energía de la empresa.

Los recursos energéticos como combustibles, electricidad y otros, al ser utilizados de una forma eficiente, pueden significar, para cualquier empresa, precios competitivos, reducción de los costos de producción, aumento de utilidades, mayor disponibilidad de recursos para publicidad y/o nuevas áreas, sin el detrimento de su producción. Llegando hacer hasta cierto punto una ventaja competitiva para la empresa auditada.

2.3.2 EL AUDITOR EXERGÉTICO

Es el profesional que realiza la auditoría en ocasiones coordinando a un grupo de especialistas, por la amplitud o complejidad de la instalación analizada.

La diversidad de tipos de empresas, pertenecientes a sectores con procesos muy diferentes, con distintos tipos de equipos consumidores y tecnologías energéticas, requiere que el auditor o el coordinador, tenga una formación amplia, con conocimientos las técnicas energéticas y capacidad para relacionar los procesos productivos con el consumo de energía.

El auditor energético deberá poseer los conocimientos necesarios para la realización de cálculos técnico-económicos así como la capacidad de realizar o dirigir las mediciones que sean necesarias (medidas in situ).

La habilidad para realizar cálculos técnico-económicos es necesaria. Los perfiles que más se adaptan a estos requisitos son los de Ingenieros Mecánicos con especialización en el área energética.

La base teórica debe ir acompañada de una amplia experiencia profesional de trabajo en plantas, de diseño y/o de la realización de auditorias energéticas.

2.3.3 AUDITORÍA PRELIMINAR

Una auditoría energética preliminar constituye el comienzo de todo estudio sobre “Gestión Energética”. Esencialmente se trata de averiguar cómo se compra la energía, dónde se la utiliza, con que eficacia, puntos críticos en cuanto a consumo, malas practicas, etc. Y tiene

como función principal la de determinar las medidas de ahorro energético sin inversión (house keeping).

2.3.3.1 Organización de recursos

Lo primero a realizar es organizar los recursos necesarios para realizar la labor tanto en lo que se refiere a personal, instrumentación, una lista de documentación necesaria para la auditoría (cuestionarios energéticos, formularios para recopilación de datos). En este primer paso habría que definir el tiempo necesario que el personal debe dedicar a la auditoría.

2.3.3.2 Recopilación de datos

La auditoría premilitar es fundamentalmente una recopilación de datos y esta labor requiere que se establezca una buena relación entre el personal de la empresa auditada y el personal auditor, para que la transmisión de datos e informaciones sea más fluida.

Los períodos de toma de datos varían ostensiblemente dependiendo del tipo de empresa, oscilando desde días hasta meses en función del número de equipos a auditar, tipos de instalaciones, dimensiones, etc. En cualquier caso, debe ser el suficiente para que los datos sean representativos. Es importante durante esta etapa contar con la colaboración del personal de la empresa, especialmente con el encargado de mantenimiento y el jefe de planta.

Para llevar a cabo esta labor se deberá contactar con:

- El director general.
- El ingeniero de planta.
- Los encargados de producción.
- El personal administrativo.

Además es necesaria una visita a la planta, que le permita obtener información visual de procesos, fallos, etc. Además de:

- Consumos de materias primas.
- Información sobre maquinaria, equipos, métodos de trabajo, datos de tarificación y consumos energéticos (eléctricos, combustibles fósiles, energías alternativas).
- Observar los departamentos de mayor consumo.
- Comprobar el funcionamiento de la instrumentación.
- Datos históricos de suministro de energía.
- Tiempo de utilización de instalaciones consumidoras de energía.
- Las hojas de marcha de los procesos.

- Inventario de equipos consumidores de energía.

2.3.3.3 Análisis de datos

Después de la recopilación de los datos hay que hacer una valoración de los mismos., consiguiéndose:

- Energía consumida, costos, distribución de consumos.
- Índices de consumo de energía.
- Diagramas de procesos de la planta.
- Potencial de ahorro de energía.

2.3.3.4 Desarrollo de plan de acción

Éste último paso consiste en desarrollar un plan de acción que detallará:

- Las oportunidades de ahorro de inmediata aplicación.
- Los proyectos de conservación para estudios posteriores.
- Los recursos disponibles para la auditoría energética definitiva:
 - Sistemas de comprobación.
 - Instrumentación manual y fija.
 - Necesidad de personal.
 - Tiempo de dedicación.

2.3.4 AUDITORÍA DEFINITIVA

A este tipo de auditoría corresponde por objeto analizar más en detalle una parte de la instalación o un aspecto determinado del consumo de energía. En este paso es donde se obtienen los resultados más sorprendentes, porque la práctica muestra que el potencial de economía de energía posible aumenta con la cantidad de datos recogidos, la recopilación de buenas practicas energéticas desarrolladas intuitivamente en la empresa (en aire comprimido, iluminación acondicionamiento, calderas, etc.) así como su posterior normalización y presentación para provecho del colectivo industrial. Esto permitirá identificar los puntos donde no se está consiguiendo un uso eficaz de la energía y establecer las medidas correctoras oportunas como sustitución de equipos, nuevos protocolos de actuación...

Además de la viabilidad técnica, debe analizarse la económica, determinando inversiones, beneficios, costos y períodos de recuperación. Es decir, emitir recomendaciones técnicas rentables para mejorar la eficiencia de los equipos auditados. Estas mejoras pueden ser, por

ejemplo: sustitución de equipos por otros mas eficientes, aprovechamiento y optimización de las energías residuales, optimización de las tarifas energéticas, cogeneración de energía, aprovisionamiento energético, uso racional de la energía, buenas prácticas energéticas, bechmarking energético, etc.

Etapas de la auditoría definitiva

- Medición de parámetros operacionales.
- Determinación de prácticas de operación vigente.
- Identificación de oportunidades de reducir costos.
- Estimación de ahorros de energía alcanzables.

La medición de parámetros operacionales, medidas “in situ” se los debe realizar bajo máxima medidas de seguridad e higiene industrial tanto para el personal de la planta como para el auditor. Esto representa obtener datos cuantificados y valorados de la utilización de la energía según: cada combustible, cada área, cada proceso, cada unidad importante de la planta, cada servicio (luz, aire, agua, etc.). En lo posible, hay que evitar que los operadores de la planta modifiquen su método de trabajo habitual.

Una vez que se han realizado las mediciones correspondientes, se deben hacer análisis energéticos y exergéticos, con el fin de determinar, de manera cierta, los costos y beneficios que la empresa auditada puede conseguir en muchos casos a través de evaluaciones económicas de los diferentes equipos, áreas, sistemas, etc.

2.3.5 DIAGRAMAS ENERGÉTICOS DE SANKEY

Una manera de visualizar las perdidas y la forma en que la energía suministrada a un proceso, es por medio de una representación grafica o esquemática de los balances de energía. Una técnica utilizada es la de los denominados diagramas de Sankey (figura 2.3), en honor a su inventor el ingeniero irlandés M. H. P. R Sankey (1853-1921), los cuales son útiles para representar como se distribuyen los flujos de energía a medida que pasan por el proceso.

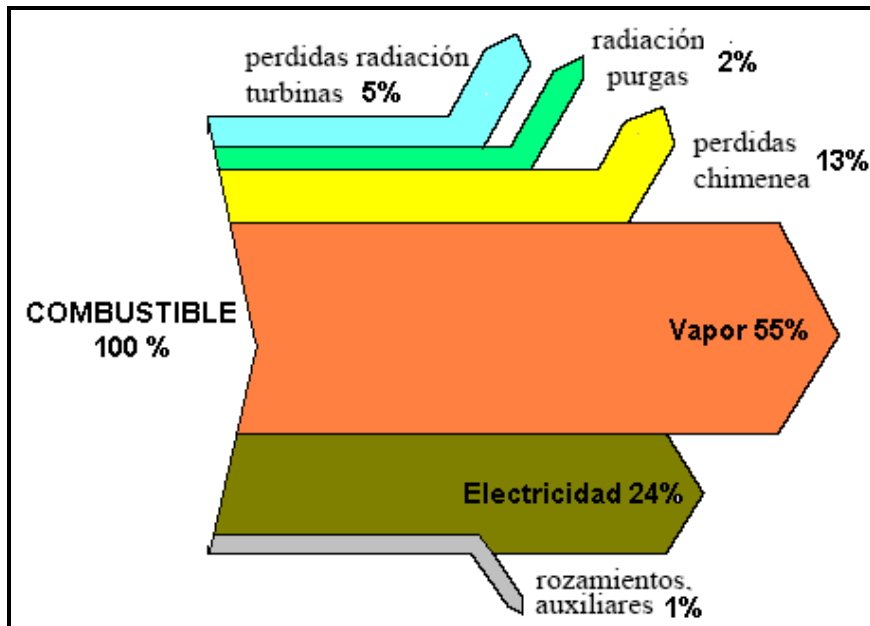


FIGURA2.3. DIAGRAMA DE SANKEY DE UN PROCESO DE COMBUSTIÓN.

Dicha representación gráfica del consumo de energía puede ser de un ecosistema natural o artificial, es, a manera de franjas que representan, según su anchura, la cantidad de energía correspondiente, según su dirección, al destino final de esa energía. La cantidad de energía involucrada puede estar expresada en porcentaje o en cualquiera de las unidades de energía, Joules en el SI ó Btu en el sistema inglés.

CAPÍTULO 3

AUDITORÍA EXERGÉTICA PRELIMINAR

El capítulo indica la capacidad instalada, utilizada y la no utilizada de las principales industrias lácteas de la Provincia del Carchi.

Se realiza una descripción del proceso de pasteurización de Industria Carchi y se expone el diagrama de flujo. Se establecen los datos de la empresa auditada en cuanto tiene que ver a producción, consumo y costo de energía (combustible y electricidad).

Finalmente se hace una descripción e identificación de los equipos a auditarse, entre los que se destacan el sistema de refrigeración con amoníaco (banco de hielo), sistema de distribución de energía eléctrica, sistema de generación y distribución de vapor, sistema de aire comprimido y sistema de bombeo de agua.

3.1 DESEMPEÑO FUNCIONAL DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN CARCHI

3.1.1 CAPACIDAD INSTALADA

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería la capacidad instalada de las principales industrias lácteas de Carchi es así: 17 millones de litros anuales para Industria Lechera Carchi S.A ubicada en la ciudad de Tulcán y 15 millones de litros anuales para Productos González S.A de la ciudad de San Gabriel. A estas dos grandes industrias, debe sumarse la capacidad instalada en las medianas y pequeñas empresas que se han establecido con diversos nombres en distintos puntos de la Provincia y que suman 9 millones de litros anuales. En consecuencia, la capacidad instalada se ubica en un gran total de 41 millones de litros anuales. Por lo que, como primer elemento o dato para evaluar el desempeño de la industria láctea de Carchi, es su capacidad instalada.

3.1.2 CAPACIDAD UTILIZADA

El segundo elemento ha considerarse es la capacidad utilizada que se estima en 18 millones de litros anuales ingresados a la industria láctea. Esta estimación siguió el procedimiento siguiente: Para el caso de industria Lechera Carchi S.A la empresa indicó que recibió 7 millones 300 000 mil litros de leche anuales. Productos Lácteos González registra un ingreso con una cifra ligeramente superior a los 4 millones 700 000 mil litros anuales.

Para el caso de las medianas y pequeñas empresas se hizo una estimación aplicando el concepto de que éstas ponen en marcha sus negocios con lo mínimo necesario y no tienen capacidad financiera para prever futuras ampliaciones; en consecuencia comienzan y permanecen (las que quedan) utilizando al máximo sus instalaciones o su capacidad instalada; y para el caso se asignó el 70% de la misma. Es decir, se consideró como capacidad utilizada 6 millones de litros anuales.

En suma, las empresas ingresaron y procesaron un total de 18 millones de litros de leche en el ejercicio 2006, que sería su capacidad utilizada. Una prueba de que los datos antes señalados, son consistentes y razonables es la siguiente:

El III censo Nacional Agropecuario consigna el dato de que en Carchi se producen 168 816 litros diarios por el ordeño de 23 799 cabezas y con esta cifra se establece que la producción anual de leche es alrededor de 60 millones; los mismos que se distribuyen de la siguiente manera 30%, 17 millones, son entregados a la industria láctea, el 40% lo destinan al autoconsumo y a la crianza de terneros y el 30% restante lo comercializan como leche cruda en sus propias localidades.

3.1.3 CAPACIDAD NO UTILIZADA

La capacidad no utilizada se obtuvo por diferencia, es decir, a la capacidad instalada se le resta la capacidad utilizada, tal como se indica en la tabla 3.1.

TABLA 3.1.

CARCHI: CAPACIDAD DE INDUSTRIA LÁCTEA 2006 MILLONES DE LITROS DE LECHE ANUALES			
	Instalada	Utilizada	No Utilizada
Industria Lechera Carchi S.A	17	7.3	10
Productos Lácteos González S.A	15	4.7	11
Otras	9	6	3
Promedio Total	41	18	24
FUENTE: ECONOMISTA. MARCO SANTAMARÍA			

A manera de resumen y para mejor comprensión se presenta en la tabla 3.2 la capacidad instalada, utilizada y no utilizada por la Industria Láctea de Carchi, en términos porcentuales el desempeño de la Industria Láctea en Carchi en el 2006.

TABLA 3.2.

CARCHI: CAPACIDAD DE INDUSTRIA LÁCTEA 2006 [%]			
	Instalada	Utilizada	No Utilizada
Industria Lechera Carchi S.A	100	41	59
Productos Lácteos González S.A	100	27	73
Otras	100	67	33
Promedio Total	100	45	55
FUENTE: ECONOMISTA. MARCO SANTAMARÍA			

Por lo tanto, el desempeño de la industria láctea no es económico puesto que, utiliza el 45% de su capacidad instalada, y mantiene como capacidad forzosamente ociosa o sin utilizar el 55%. Obviamente que esta condición antieconómica se mantiene por falta de mercado. Debido a que la clientela a la que llega la producción Lechera de Carchi, no crece ni en número de facturas ni en volumen de compras.

3.2 CARACTERÍSTICAS PROCESO DE PASTEURIZACIÓN EN INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A

La leche en su estado natural contiene peligrosas bacterias precedentes ya sea de un animal enfermo, polvo en el medio ambiente o por otro tipo de contaminación durante en el proceso de extracción y almacenamiento que pueden afectar al individuo que la consume. Para evitar riesgos de contraer alguna enfermedad por el consumo de leche en mal estado, la leche se somete a un proceso de pasteurización, con el objetivo de asegurar la eliminación de algunas formas microbacterianas, el cual consiste en su primera etapa de calentar la leche a una temperatura constante durante un tiempo determinado según la temperatura, minimizando los efectos de alteración en el producto, lo cual se debe de hacer en capas delgadas, con el objetivo de que todas las partículas de la leche alcancen la misma temperatura durante el mismo tiempo.

El proceso de pasteurización es idóneo a fin de disminuir casi toda la flora de microorganismos saprofitos³ y la totalidad de los agentes microbianos patógenos⁴ pero alterando en lo mínimo posible la estructura física y química de la leche y las sustancias con actividad biológica tales como enzimas y vitaminas.

La leche, se la somete primeramente al calor, sin llegar a los 100 °C (sólo a la temperatura necesaria para eliminar el bacilo transmisor de la Tuberculosis, el cual se destruye en 6 minutos a una temperatura de 63 °C y en 20 segundos a 72 °C).

La pasteurización se puede hacer de dos formas establecidas:

- Pasteurización baja y lenta: a 63 °C durante 30 minutos. Da origen a pocas modificaciones, en particular el color y el sabor permanecen invariables y la separación de la crema no se retrasa.
- Pasteurización alta y rápida: entre 72 y 80 °C (máximo 85°) durante 15-20 segundos. Aunque presenta una mayor alteración al producto, se considera no significativa y es actualmente el método más difundido. Este tipo de pasteurización también es conocida como HTST (High Temperature Short Time).

La pasteurización no disminuye el valor alimenticio de la leche. No altera ninguna vitamina, salvo la C, pero la leche no es una fuente importante de esta vitamina. Debido a que el uso de la pasteurización lenta es adecuada para procesar pequeñas cantidades de leche hasta

³ Microbios que viven normalmente en el organismo, a expensas de las materias de putrefacción y que pueden dar lugar a enfermedades.

⁴ Microorganismos capaces de producir una infección en el cuerpo de animales y plantas.

aproximadamente 2000 litros diarios, en Industria Lechera Carchi se utiliza la pasteurización rápida, ya que en esta empresa se procesan aproximadamente 20 000 litros diarios de leche.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para facilitar en la descripción del proceso de pasteurización de Industria Lechera Carchi S.A, se elaboró el diagrama de flujo del proceso (figura 3.1). Este diagrama además de hacer referencia al proceso de pasteurización general, menciona también los sistemas involucrados en la auditoría (según el alcance del proyecto, capítulo 1, apartado 1.5) los cuales se encuentran encerrados en cuadros y codificados.

En la figura 3.1, las líneas entrecortadas encierran los sistemas a auditar, las líneas de color azul representan al recorrido del agua, las líneas rojas el recorrido del vapor, las líneas de color tomate el recorrido del agua fría, las líneas verdes el recorrido del aire y las líneas de color verde claro el recorrido que sigue la leche.

TRANSPORTE “T1”

El proceso de pasteurización comienza con la llegada de los tanqueros desde las diferentes haciendas que suministran la materia prima a la empresa, entrada T1 de la figura 3.1. Aunque también existen proveedores que entregan la leche en sus propios vehículos, transportando la leche en tinas.

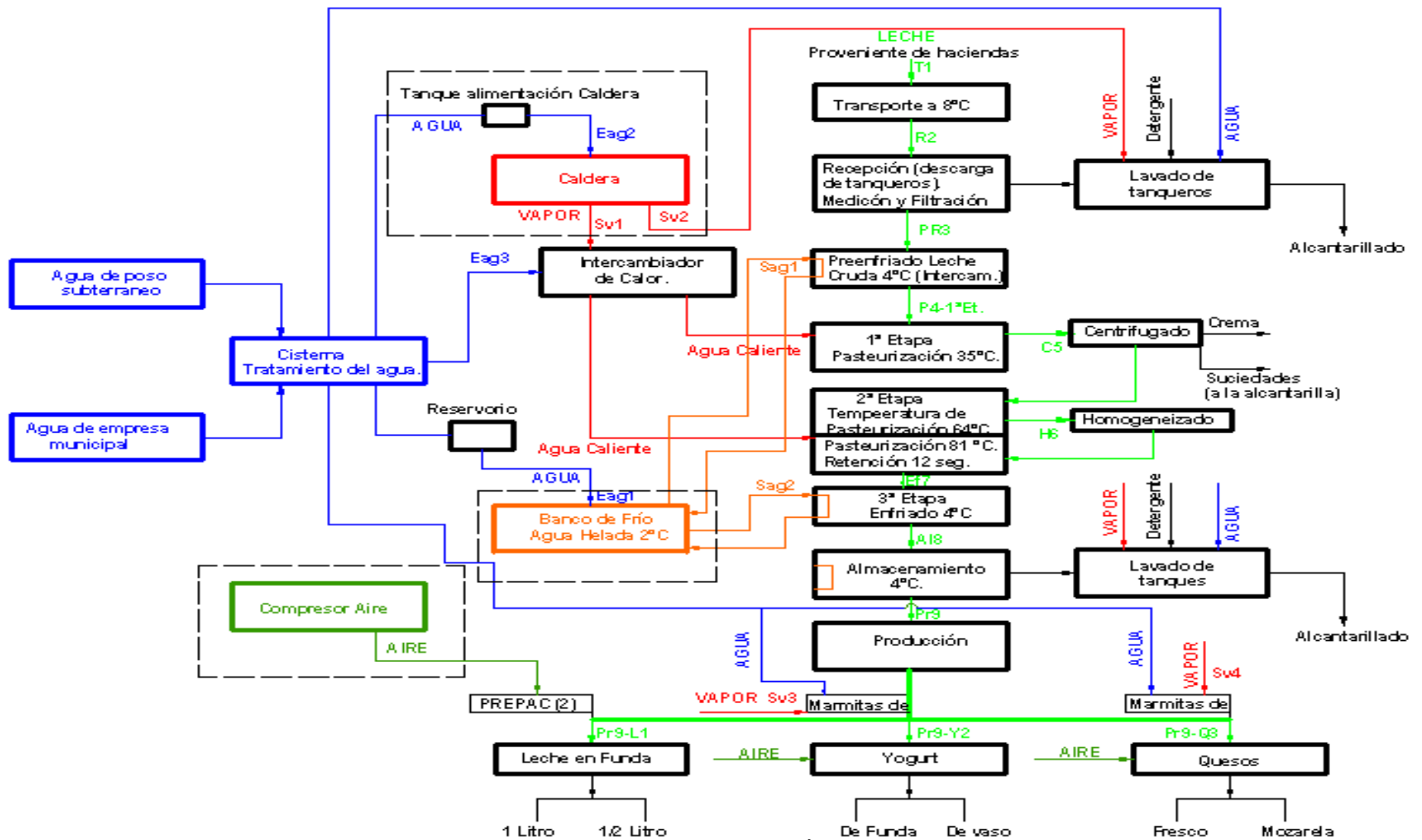


FIG3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PASTERIZACIÓN DE INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A.

RECEPCIÓN “R2”

La nomenclatura R2 hace referencia al flujo que sigue el proceso, el cual se detalla en la figura 3.1.

El producto llega a la planta a una temperatura que depende de las condiciones ambientales, que puede llegar a los 8 °C. Antes de descargar la leche, la parte externa del tanquero es lavada utilizando mangueras, para eliminar las partículas de polvo que pudieran estar adheridas al vehículo. Luego la leche es succionada a través de bombas y mangueras sanitarias que la llevan directamente a una báscula para su pesaje (Fig3.2), medición del caudal de ingreso a la planta y el almacenamiento temporal en un recipiente (Fig3.3) de donde sale al proceso de preenfriado.



FIG3.2. BASCULA PARA EL PESAJE DE LA LECHE FIG3.3. RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO PROVISIONAL

En la balanza utilizada para el pesaje de la leche se encuentra instalado un filtro que se encarga de detener todas las partículas grandes que pudiera traer consigo la leche desde las diferentes haciendas de destino, tales como piedras, yerba, arena, etc.

PREENFRIADO “PR3”

El preenfriado se realiza en un intercambiador de calor de placas (Fig3.4) que utiliza un sistema de enfriamiento con agua fría recirculada, proveniente de un banco de hielo de la empresa, el cual es un sistema de refrigeración que utiliza amoníaco (NH_3) como medio refrigerante. En este paso la leche proveniente de recepción a una temperatura promedio de 8 °C, se enfría hasta 4 °C, para que pueda ingresar al pasteurizador.



FIG3.4. INTERCAMBIADOR DE PLACAS PARA EL PREENFRIADO DE LA LECHE CRUDA.

PASTEURIZACIÓN

En este proceso se aplica calor por medio del calentamiento y enfriamiento de las paredes de compartimientos especiales diseñados para tal fin, llamados "placas del pasteurizador". La leche cruda se hace circular por el pasteurizador (Fig3.5), que es un intercambiador de placas de tres niveles, 2 de calentamiento y uno de enfriamiento, mediante la circulación de agua caliente en contracorriente. El agua caliente se obtiene por medio de un intercambiador de calor que opera con vapor como fuente de calentamiento.

Una vez que la leche ha salido del proceso de preenfriado (a 4 °C) ingresa a un precalentamiento en una de las secciones del pasteurizador (Primera etapa, P4-1ªEt.), en donde su temperatura se eleva hasta aproximadamente 35 °C. Desde aquí la leche se dirige hasta una descremadora (centrífuga).



FIG3.5. PASTERIZADOR UTILIZADO EN ILCSA. ES UN INTERCAMBIADOR DE PLACAS DE TRES NIVELES, 2 DE CALENTAMIENTO Y UNO DE ENFRIAMIENTO.

Descremado "C5"

Utiliza el principio de la fuerza centrífuga para la separación de la crema de leche. El separador centrífugo o descremador (Fig3.6) consta de discos cónicos con agujeros de distribución, los cuales están alineados verticalmente.



FIG3.6. DRESCREMADOR O CENTRÍFUGA UTILIZADO EN ILCSA

La leche se introduce a través de los agujeros y, gracias a la fuerza centrífuga, la grasa se separa. Los glóbulos grasos, al ser menos densos que la leche descremada, se desplazan hacia el interior, mientras que la leche descremada se mueve hacia el exterior y luego hacia el recipiente. En este punto la leche ha pasado por el primer nivel del pasteurizador (1ª Etapa, figura 3.5), elevando su temperatura hasta 35 °C, de ahí a la centrífuga para el descremado y separación de suciedad. En este proceso se obtiene leche con un contenido de grasa determinado, según la calibración del equipo, crema como otro producto y suciedad. Esta última es desechada al alcantarillado municipal.

Homogenizado “H6”

Este proceso consiste en la dispersión del glóbulo graso de la leche, con el fin de no permitir su separación tras un extenso período de reposo. De esta manera, los glóbulos se desintegran y se dispersan por toda la leche dándole una estructura homogénea (de allí su nombre).



FIG3.7. HOMOGENEIZADOR UTILIZADO EN ILCSA

La leche proveniente del descremador ingresa al segundo nivel del intercambiador de placas y se eleva su temperatura a 64 °C, antes de llegar al homogeneizador. La leche es llevada al homogeneizador (Fig 3.7), donde se destruyen las moléculas grandes de grasa. El homogeneizador funciona con un sistema de pistones operados con un motor eléctrico; los pistones son enfriados por agua, la que luego se envía directamente al desagüe.

Pasteurizado

Se eleva la temperatura de la leche proveniente del proceso anterior hasta 81 °C, para su pasteurización. Llamada también pasteurización continua o bien HTST (High Temperature Short Time), este tratamiento consiste en aplicar a la leche una temperatura de 79 - 81°C en un tiempo de 15 a 20 segundos.

tubo de retención: Para asegurar que toda la leche llega a 81°C, existe un control al final del intercambiador, que retiene a la leche por 15 segundos, no permitiéndole circular libremente.

ENFRIADO “Ef7” Y ALMACENAMIENTO “A18”

Una vez que la leche ha sido expuesta a 81 °C, en el intercambiador de placas, ésta es enfriada hasta 4 °C; luego, la leche es transportada a los tanques de almacenamiento (Fig3.8 y Fig3.9), de donde, sale a las máquinas Prepac para ser enfundada.

Estos tanques tienen una capacidad de 10 mil, 10 mil y 8 mil litros respectivamente.



FIG3.7. TANQUE DE 10000 LITROS

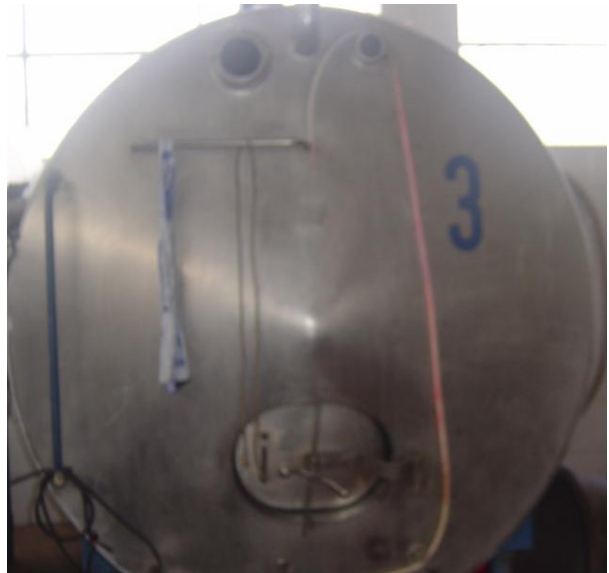


FIG3.8. TANQUE DE 8000 LITROS

La leche almacenada en los tanques es evacuada gradualmente, a medida que el proceso en línea avanza durante el día. Cada vez que es evacuada la totalidad de la leche, se procede a la limpieza manual de los tanques, la que se realiza una vez al día. Para el lavado de cada uno de los tanques se procede de la siguiente manera:

- Se realiza un enjuague previo con agua fría.
- Se prepara una solución de limpieza que contiene 10 litros de agua y 10 cm³ de detergente con base en amonio cuaternario. Esta se deposita al interior de cada tanque.
- Un obrero ingresa al tanque y friega toda su superficie con cepillo.
- Se enjuaga el tanque con agua fría, hasta sacar todos los residuos del detergente.
- Las aguas residuales de este lavado van directamente a la alcantarilla.

- Luego se realiza una desinfección con vapor proveniente de las calderas, durante 10 minutos.

PRODUCCIÓN “Pr9”

Una vez que la leche ha sido pasteurizada, esta es transportada por tuberías de acero inoxidable a las diferentes áreas de producción. Como se dijo anteriormente Industria Lechera Carchi tiene definido tres áreas de producción: enfundado de leche y bolos, yogurt y quesos.

En el área de enfundado (Pr9-L1), se dispone de dos líneas automáticas, llamadas Prepac (Fig3.10) que envasan la leche en fundas plásticas y lo sellan. Las mandíbulas de sellado son resistencias por donde circula corriente produciéndose el soldado por calentamiento de las mismas. Existen dos tipos de suelda: una que hace una suelda vertical y una horizontal la cual tiene el objetivo de cortar las fundas ya llenas de leche, para que caigan a una banda transportadora. La operación de envasado no es continua, sino que se ajusta a la disponibilidad del producto a envasarse, es decir de la demanda.

En el área de yogurt de (Pr9-Y2) se dispone de cinco marmitas, una máquina para enfundar yogurt (Máquina Thimonnier) y una máquina para envasar yogur, igual que la operación anterior, esta no es continua sino que se ajusta de acuerdo a la demanda.

En el área de quesos (Pr9-Q3) tenemos tinas para cuajar el queso, prensa neumáticas para quesos y máquinas empacadoras al vacío.

El producto terminado se coloca en jabs plásticas y es conducido a un cuarto frío, desde donde se despacha a los camiones refrigerados que llevan el producto al mercado local y nacional.



FIG3.10. MÁQUINA PREPAC. ENFUNDADORA DEL PRODUCTO.

3.3 DATOS DE EMPRESA AUDITADA

3.3.1 DATOS DE PRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que la industria es el lugar físico donde se transforman las materias primas para producir un bien, incurriendo en costos y gastos para cumplir este objetivo es menester; conocer los datos de producción de la empresa auditada.

La tabla 3.3 contiene información básica referente a la empresa, costos y consumos energéticos, número de empleados con los que cuenta la empresa, el régimen de funcionamiento. El porcentaje de utilización de la capacidad productiva, así como la localización geográfica de la empresa.

Industria Lechera Carchi S.A procesa anualmente una cantidad aproximada de 7 300 000 litros de leche, siendo sus principales mercados Tulcán, Ibarra y Quito con un porcentaje de incidencia de 23%, 17% y 60% respectivamente.

TABLA 3.3

ILCSA: DATOS DE PRODUCCIÓN 2006		
Nombre de la Empresa:	INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A	
Actividad:	Producción de Lácteos	
Localización Geográfica	Provincia	Carchi
	Cantón	Tulcán
	Parroquia	Túlcan
	Dirección	Av. Veintimilla y 24 de Mayo (esquina)
N° de empleados:	25	
Regimen de Funcionamiento	Horas/día	11
	Días/semana	7
	Horas/año	4015
Grado de Utilización de Capacidad Productiva	48%	
Producción	7 300 000 litros de leche/año	
Costo total en energéticos al año	87297,54 USD/año	
Costo Energético Específico	0.0119 USD/litro de leche procesada.	
Principales Productos	Leche en funda	
	Yogurt en vaso y funda.	
	Queso fresco, mozzarella.	
FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A		

3.3.2 DATOS ENERGÉTICOS

A continuación se establecen los tipos de energía que se utilizan en Industria Lechera Carchi, sus tarifas, sus proveedores y cantidad consumida durante el 2006.

3.3.2.1 Energía eléctrica

Industria Lechera Carchi S.A, toma de Empresa Eléctrica del Norte (Emelnorte), 13800 Voltios, los cuales son transformados a 220 Voltios (3 fases) en un transformador trifásico de 125 kVA. Una vez que el voltaje ha sido rebajado acorde a las necesidades de la empresa, se dirige hacia dos contadores eléctricos, uno mecánico y otro electrónico. De este punto la energía se dirige hacia el tablero eléctrico, de donde se hace la distribución a los diferentes puntos de consumo.

Entre los principales consumidores de energía eléctrica que tiene Industria Carchi se encuentra los motores eléctricos, iluminación, enfriamiento (compresor de amoníaco), bombas, ventiladores, agitadores, computadoras y equipos de oficina.

TABLA 3.4.

--

ILCSA: CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PERIODO 2006				
AÑO	MES	CONSUMO [KWh]	COSTO TOTAL [USD]	COSTO UNITARIO kWh [USD]
2006	Enero	21910	2329,77	0,10633
	Febrero	23134	2421,48	0,10467
	Marzo	21542	2282,76	0,10596
	Abril	23868	2521,84	0,10565
	Mayo	24480	2551,24	0,10421
	Junio	24113	2512,72	0,10420
	Julio	29254	3076,81	0,10517
	Agosto	16157	1834,99	0,11357
	Septiembre	24602	2574,06	0,10462
	Octubre	25214	2673,89	0,10604
	Noviembre	26194	2806,89	0,10715
	Diciembre	25582	2897,89	0,11327
		286 050	30 484,34	0,10674
FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A, DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD				

En la tabla 3.4 se puede observar el consumo de KWh por mes y el costo unitario de cada KWh, así como también el costo en energía eléctrica de cada mes del 2006. Los costos de energía eléctrica que tuvo la empresa durante el ejercicio del 2006 ascendieron a 30834,3 USD. La energía eléctrica es comprada a Emelnorte en su totalidad. La empresa tiene un motor Cummins para la generación de energía eléctrica, pero este se prende cuando el fluido eléctrico, por parte de la estatal Emelnorte es suspendido.

3.3.2.2 Combustible

El combustible diesel se compra a Servicentro Carchi de la Ciudad de Tulcán. Este es utilizado para el funcionamiento de las calderas y para operación de los camiones que reparte y traen la leche.

Industria Carchi cuenta con tres tanques para el almacenamiento de combustible con capacidades de 1200, 2300 y 2200 galones de diesel. La empresa cuenta siempre con una reserva de aproximadamente 2500 galones de diesel.

TABLA 3.5

ILCSA: CONSUMO DE COMBUSTIBLE PERIODO 2006				
AÑO	MES	DIESEL [Gal]	COSTO TOTAL [USD]	COSTO UNITARIO [USD]
	Enero	4650,0	4822,05	1,037
	Febrero	4700,0	4873,90	1,037
	Marzo	5050,0	5236,85	1,037
	Abril	3600,0	3733,20	1,037
	Mayo	4700,0	4873,90	1,037
	Junio	4700,0	4873,90	1,037

2006	Julio	7260,8	7529,45	1,037
	Agosto	4500,0	4666,50	1,037
	Septiembre	4650,0	4822,05	1,037
	Octubre	2000,0	2074,00	1,037
	Noviembre	6675,3	6922,30	1,037
	Diciembre	2300,0	2385,10	1,037
		54 786,1	56 813,2	1,037
FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A, EPARTAMENTO DE CONTABILIDAD.				

La tabla 3.5 indica el consumo y costo para la empresa por combustible durante el 2006, y en la tabla 3.6 se establecen las características promedio del combustible (diesel 2) utilizado en las calderas. Los costos energéticos en que incurre la empresa ascienden aproximadamente a 87298 USD/año.

TABLA 3.6

ILCSA: CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADA PARA LAS CALDERAS Y CAMIONES		
NOMBRE	Diesel 2 (Diesel)	
COMPAÑIA PRODUCTORA	Refinería de esmeraldas	
COMPAÑIA DISTRIBUIDORA	-----	
GRADOS API	15	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0.966	
DENSIDAD	lb/gal	8.312
	Kg/gal	3.7703
PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)	Btu/lb	18 840
	Btu/gal	156 598.08
	KJ/Kg	43 821.84
	KJ/gal	165 221.48
	KWh/gal	45.89
FUENTE: MONEY D.A .ENGINEERING THERMODYNAMICS, PAG 406.		

Los recursos energéticos son un factor estratégico para la sobrevivencia de la empresa en el mercado. El uso que en un futuro próximo se les dé será un factor decisivo en el crecimiento económico de la empresa, por lo que, su disponibilidad, calidad, precio y buen uso jugaran un papel primordial en el crecimiento económico Industria Lechera Carchi S.A.

3.4 DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS A AUDITARSE

El sistema de producción de vapor, el sistema de enfriamiento de agua para el proceso de preenfriado y pasteurización, la distribución de aire comprimido, maquinaria eléctrica e iluminación se constituyen en el alma de la empresa y requieren para su funcionamiento de

energía que la empresa compra a distribuidores locales. Para estos sistemas es indispensable establecer donde y como se utiliza la energía.

3.4.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO

El sistema de refrigeración de Industria Carchi nace con la recepción de agua proveniente de un reservorio (entrada E_{ag1} , figura 3.11), una vez en el banco de hielo es enfriada por un intercambiador de calor (evaporador). Luego el agua que ha sido enfriada se dirige por medio de un sistema de bombeo hacia el proceso de preenfriado de la leche cruda (salida S_{af1}) y enfriado de la leche pasteurizada (salida S_{ag2}), tal como se muestra en el esquema de la figura 3.11.

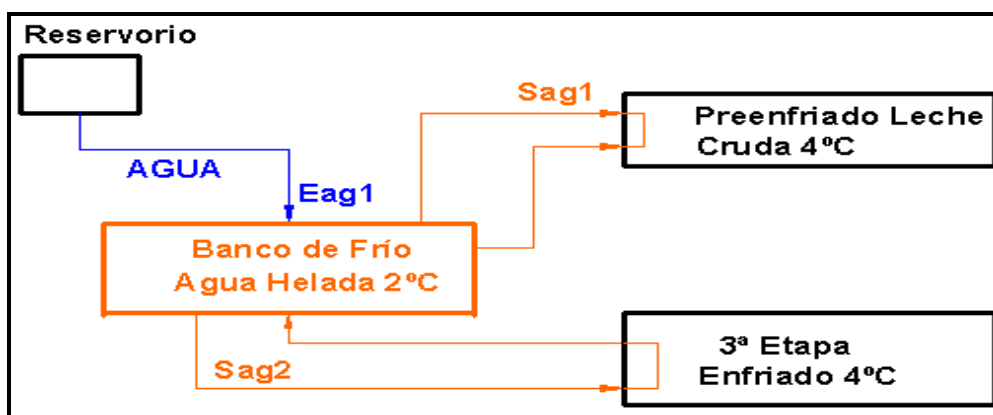


FIG3.11. ESQUEMA DE PREENFRIADO Y ENFRIADO DE LECHE

En Industria Lechera Carchi S.A, el sistema de refrigeración de amoniaco consta básicamente de un compresor recíprocante para amoniaco, un evaporador, un condensador evaporativo, un banco de hielo donde se enfría el agua que se utiliza tanto en el preenfriado de la leche cruda, como en el proceso de pasteurización y las tuberías de alta y baja. Los datos generales del sistema hacer auditado se presentan en la tabla 3.7:

TABLA 3.7.

ILCSA: DATOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA	
Identificación del sistema	Sistema de enfriamiento de agua.
Capacidad frigorífica	292 248 kJ/h (23 TR).
Tipo de sistema	Sistema de compresión de vapor.
Marca / Modelo	MYCOM / N4A
Procedencia	Japón
Año de fabricación	1987
Horas de trabajo al año	8760 h/año
Tipo de refrigerante	Amoniaco (NH ₃)
Aplicación	Proceso de pasteurización (enfriamiento de agua)
Nº de etapas	Una
Tipo de compresor	Recíprocante, 2 cilindros en línea.

Tipo de evaporador	De tubo abierto en forma de serpentín.
Tipo de condensador	Condensador Evaporativo

FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A

3.4.1.1 Inspección general del compresor recíprocante

En la inspección se pudo constatar que el compresor recíprocante Mycom (Fig3.12), cuenta con los instrumentados para medir las presiones tanto en lado de baja (succión) como en el lado de alta (descarga). Tiene termómetros que indican las temperaturas en la succión y descarga, pero en el lado de alta este instrumento se encuentra en mal estado, por lo que, se debería cambiar. Su apariencia exterior es aceptable. Al igual que el resto de equipos no se cuenta con historial de mantenimiento.



FIG3.12. COMPRESOR ALTERNATIVO PARA AMONIACO MARCA MYCOM

Las especificaciones técnicas que se encontraron en la placa del compresor se indican en la tabla 3.8.

TABLA 3.8.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL COMPRESOR PARA NH₃	
Marca	MYCOM
Tipo	Recíprocante
Nº de serie	19859
Modelo	N4A
Año	1987
Potencia del motor	22 KW
Voltaje	220
Amperaje	77
Procedencia	Japón

FUENTE: PLACA DE COMPRESOR

Este compresor posee un motor que le brinda la potencia necesaria para funcionar, el motor eléctrico presenta una potencia nominal de 22 kW.

3.4.1.2 Inspección general del condensador y evaporador

De las inspecciones realizadas se pudo constatar que: los operadores no conocen ni registran los parámetros nominales de funcionamiento del sistema.

El condensador evaporativo posee una bomba para la circulación del agua, esta bomba se encuentra accionada por un motor eléctrico, cuyas potencia es de 0.75 KW. Además posee un motor de 1 HP para impulsar un ventilador para el ingreso del aire a la torre. Las superficies del condensador evaporativo se encuentran llenas de polvo y suciedades, por lo que, se establece que no se les da una limpieza mínima.

Por otro lado, las superficies del evaporador se encuentran llenas de óxido y suciedades y el banco de hielo (figura 3.13) donde se enfría el agua, para el proceso de pasteurización se encuentra sucia, lleno de algas, mal aislado térmicamente (cemento+piedra pequeña). Además, las tuberías de la línea de baja presión no se encuentran aisladas.



FIG3.13. BANCO DE HIELO Y EVAPORADOR PARA AMONIACO

En la figura 3.13 se puede ver una de las paredes del banco de hielo y su respectivo evaporador. Esta pared es de ladrillo común y a los lados se encuentra aislado con una pared de cemento y piedra pequeña. Desde este banco se distribuye el agua fría para los distintos procesos (preenfriado y pasteurización). El banco de hielo es una piscina de 5.04x4.47x3 [m], en donde el agua tiene una temperatura promedio de 5°C, pero en ocasiones baja hasta 1°C y sube hasta 8.5°C (anexo B, código RC1). Esto acarrea problemas en el proceso de preenfriado

y pasteurizado ya que la leche tiene que salir a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y enfundado.

3.4.1.3 Inspección general de las líneas de amoniaco

De las inspecciones realizadas a las líneas de amoniaco se pudo constatar que estas no tienen ningún tipo de aislante, sobre todo en la línea de succión que es donde se podría generar un sobrecalentamiento del refrigerante. Por otro lado se noto la presencia de óxido, debido a que parte de las tuberías no tienen protección contra la lluvia y la acción del aire.

Al igual que el resto de equipos analizados anteriormente, el sistema de refrigeración tendrá también su costo en energía eléctrica. Si se suma la potencia que consume el compresor, la bomba y ventilador de la torre para su funcionamiento se tiene un total de 23.5 KW. El valor de enfriar el agua en la empresa, considerando 24 horas de funcionamiento del equipo, tendrá un costo en energía eléctrica de:

$$\text{Consumo de Energía eléctrica} = 23.5 \text{ Kw} * 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 205860 [\text{KWh/año}]$$

$$\text{Costo sistema refrigeración NH}_3 = 205860 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 18527.4 [\text{USD/año}]$$

Como se puede ver de lo anterior el poner en funcionamiento durante el ejercicio del 2006 el sistema de enfriamiento de agua en Industria Lechera Carchi, tuvo un costo de aproximadamente 18527 USD, lo que representa el 60.8% del costo total de energía eléctrica. Debido a esto, el realizar una auditoria energética en el sistema de refrigeración, podría traer ahorros importantes para la empresa.

3.4.2 ENERGÍA ELECTRICA

Las inspecciones realizadas en la empresa dejan un panorama muy desalentador en cuanto tiene que ver a red de distribución del fluido eléctrico. Considerando el tiempo de funcionamiento de la empresa (~43 años), el incremento de equipos que se ha realizado en la empresa sin ningún estudio previo, que su capacidad en cuanto a carga se ha aumentado, que la mayoría de las instalaciones eléctricas se encuentran en mal estado y no bien realizadas; El desperdicio de electricidad en este sentido debe ser considerable. Analizar minuciosamente en que condiciones se encuentra el cableado eléctrico actual en lo que tiene que ver a caída de tensión y secciones de conductores sería un trabajo improductivo, puesto que, no se tiene mayores datos sobre este y además debido al gran número de conexiones mal realizadas. Por

lo que se analizará la posibilidad de proponer un nuevo sistema de distribución del fluido eléctrico.

3.4.2.1 Maquinaria eléctrica

Los datos de la maquinaria existente en ILCSA se la puede observar en el anexo B (código RC2). Los motores y maquinaria eléctrica son las unidades funcionales de mayor consumo de electricidad en Industria Lechera Carchi, pues son los responsables del funcionamiento de diversos equipos como: bombas, ventiladores, agitadores, compresores, calentamiento y enfriamiento, equipos para el procesamiento de la materia prima (leche) y para el manejo de maquinaria.

La duración de un motor dependerá del tipo de funcionamiento a que se le someta; del número, magnitud y duración de la carga a que se le somete y el tipo de mantenimiento.

3.4.2.2 Iluminación

El área de la iluminación eléctrica es la que ofrece un mayor potencial de ahorro de energía, en parte por la cuantía del ahorro que puede ser importante y sobre todo porque contribuye a formar en las personas un alto grado de concientización que se transforma en rutina y finalmente en cultura del uso racional de la energía. Una iluminación ajustada a las necesidades de los puestos de trabajo, tanto en intensidad como en calidad, es un elemento de eficiencia económica.

De las inspecciones realizadas en la empresa se pudo constatar que gran parte de las boquillas están en mal estado, por lo que no se sabe si estas están o no consumiendo energía eléctrica, esto trae consigo un desperdicio de energía. Además, se observó que gran porcentaje de la luminaria es del tipo incandescente.

En la tabla 3.9, se muestra el tipo de iluminación que se utiliza en la empresa y el costo que le representa a la misma.

TABLA 3.9.

ILCSA: TIPO Y COTOS DE ALUMBRADO AREAS DE PRODUCCIÓN							
AREA DE LA EMPRESA	TIPO DE ALUMBRADO	CANTIDAD LAMPARAS	POTENCIA [KW]	TIEMPO [h/año]	CONSUMO [KWh/año]	COSTO KWh	COSTO [USD/año]
Pasteurización	Incandescente	26	0.150	4015	15658.5	0.09	1409.27
	Fluorescente	12	0.02	4015	80.3	0.09	7.23
Yogurt	Incandescente	6	0.150	4015	3613.5	0.09	352.22
Máquinas	Incandescente	13	0.100	2007.5	2609.75	0.09	234.88
Queso	Incandescente	21	0.150	4015	12647.25	0.09	1138.25
	Fluorescente	8	0.02	4015	80.3	0.09	7.23
TOTAL		86			34689.6		3149.12

FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A

De la tabla 3.9 se puede decir, que el 76.7% de la iluminación utilizada en la empresa es del tipo incandescente. Este tipo de iluminación es ineficiente y tienen un alto consumo de energía eléctrica. En este punto se buscará recomendar la mejor alternativa para reemplazar estos bombillos por unos mas eficientes, acordes al lugar en que van a estar iluminando y que tengan un menor consumo de energía eléctrica. Además, se tiene que el costo por iluminación en las áreas de producción es de usd \$ 3149 al año, esto representa el 10,33% del costo total que por electricidad.

3.4.3 SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Un sistema de producción de vapor está formado esencialmente por una caldera y una red de distribución del mismo (tuberías y accesorios). El conocer las características técnicas de la caldera y la forma como se distribuye el vapor, así como el número de accesorios involucrados en dicho sistema (codos, t's, válvulas, reducciones, trampas, etc) ayudará a determinar el estado en que se encuentra el sistema.

3.4.3.1 Calderas

Industria Lechera Carchi cuenta en sus instalaciones con dos calderas de procedencia estadounidense: una de marca York Shipley y otra de marca Continental. La caldera Continental (figura 3.14) se la utiliza sólo cuando se requiere una mayor cantidad de vapor en los procesos y cuando se hace el mantenimiento a la caldera York Shipley.



FIG3.14. CALDERA MARCA CONTINENTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR

Las características técnicas de la caldera continental se indican en la tabla 3.10.

TABLA 3.10.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CALDERA CONTINENTAL	
Marca	CONTINENTAL
Tipo	Pirotubular
Pasos	3
Diámetro	1250 mm
Largo	2300 mm
Nº de serie	87-12354-h-675493
Año	1977
Combustible	Diesel
Capacidad	40 BHP
Presión máxima de trabajo	130 psig
Procedencia	EE.UU (Pennsylvania).
FUENTE: PLACA DE LA CALDERA	

La caldera que mas se usa en la empresa es la caldera pirotubular York Shipley (fig3.15).



FIG3.15. CALDERA MARCA YORK SHIPLEY PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR

Las especificaciones técnicas de la caldera se aprecian en la tabla 3.11, que se las obtuvo de la placa de la misma, por no existir un catálogo.

TABLA 3.11.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CALDERA SHIPLEY	
Marca	YORK SHIPLEY
Tipo	Pirotubular

Pasos	3
Diámetro	1350 mm
Largo	2480 mm
Nº de serie	78-12275-h-72242
Modelo	SPHV-60-2-94218
Año	1978
Combustible	Diesel
Superficie de calentamiento	300
Capacidad	2 009 000 BTU (60 BHP)
Presión de generación de vapor	85 psig
Procedencia	USA
Consumo de combustible	7.86 G.F.H
FUENTE: PLACA DE LA CALDERA	

El vapor generado por esta caldera se utiliza para la limpieza de la planta, en las marmitas de yogurt y queso, en el proceso de pasteurización, para desinfectar los tanques y maquinaria (que está en contacto con la leche) después de ser utilizados. Todo lo anterior se aprecia en la figura 3.16, la cual representa un esquema del recorrido que sigue el vapor.

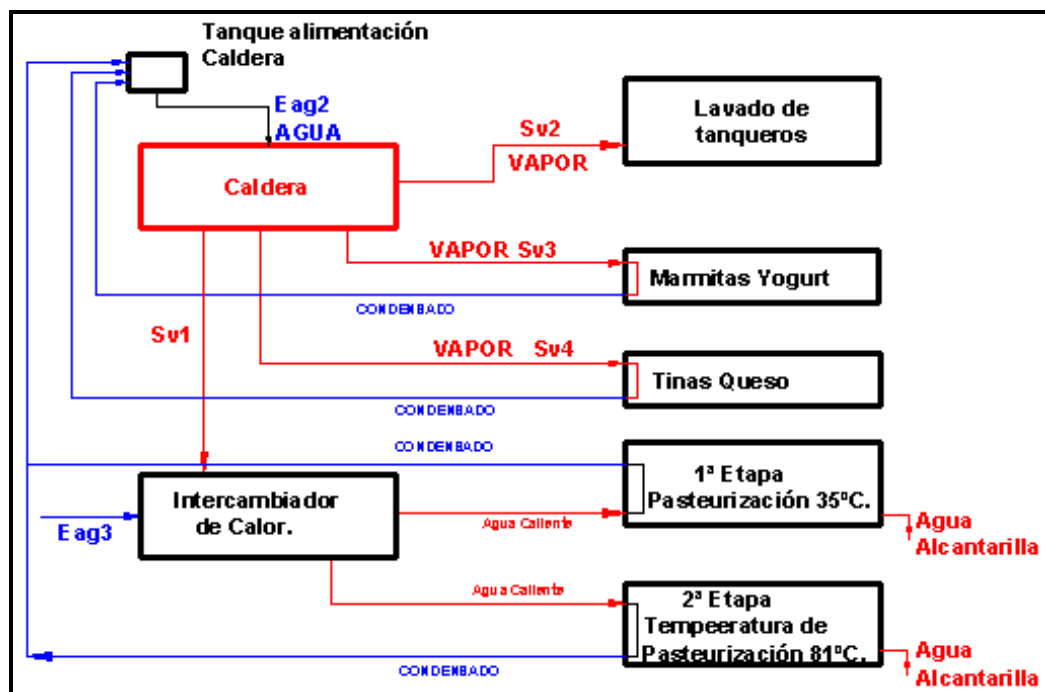


FIG.3.16. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO

La caldera trabaja 11 h/d de lunes a domingo, esto da un total de 4115 horas al año. En cuanto tiene que ver con el mantenimiento de la caldera, se hace uno total una vez al año, en el mes de diciembre y no se cuenta con registro de historial del funcionamiento de la caldera ni de mantenimiento diario o periódico. El mecánico es el encargado de purgar a las 6 de la tarde la caldera, pero este no controla su funcionamiento ni su comportamiento. Además debido a que no se cuenta como programas de mantenimiento no hay quien controle al diario la instrumentación de la caldera (alarma de seguridad, el ingreso del agua a la caldera). En cuanto tiene que ver al tratamiento químico del agua la empresa contrata los servicios de la

empresa AWT, pero no hay un trabajador que controle al diario, el comportamiento químico del agua de alimentación.

La caldera consume 7.86 galones de diesel por hora, al mes consumirá un total de 2593.8 galones lo cual representa un costo de 2689.77 USD y al año un total de 32268 dólares. Esto representa el 56.80 % del costo total de combustible que tiene ILCSA. Este otro punto importante para realizar una auditoría energética.

3.4.3.2 Líneas de distribución de vapor y condensado

De las inspecciones a las líneas de distribución de vapor se pudo constatar que la línea principal se encuentra aislada, con lana de vidrio de espesor de 2" en su mayor parte, el cual se encuentra en buen estado. Las líneas de suministro que se dirigen al área de yogurt y área de quesos no tienen aislante, por lo que se podría estar produciendo pérdidas importantes de energía en estos tramos.

Se pudo observar, que existe fugas de vapor en el MacDonell, en la válvula de reducción de presión que llega al intercambiador de calor del pasteurizador, una fuga de condensado en la trampa de vapor de este último. Se constato además una fuga de vapor en la línea de suministro que se dirige a la marmita 1, del área de yogurt, tramo 35-37 (plano RDVI, anexo A). Todas estas fugas representan perdidas económicas para la empresa.

Las líneas de retorno del condensado hacia la caldera se encuentran en buen estado y trabajando bien.

3.4.4 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido en Industria Lechera Carchi se lo utiliza para el funcionamiento de la máquina Thimonnier, esta consta básicamente de un sistema electroneumático para el enfundado de yogurt. Para la máquina envasadora de yogurt, controlada por un sistema electroneumático.

En el área de quesos de quesos el aire es utilizado en la máquina prensa quesos, para el accionamiento electroneumático de la máquina para queso mozzarella, proveniente de argentina y para el empacado de los diferentes quesos (empacadoras al vacío). Por último el aire es utilizado en las Prepac, para el enfundado de leche y bolos y para el funcionamiento de una banda transportadora solidaría a esta. Todo lo anterior se indica en el esquema de la figura 3.17.

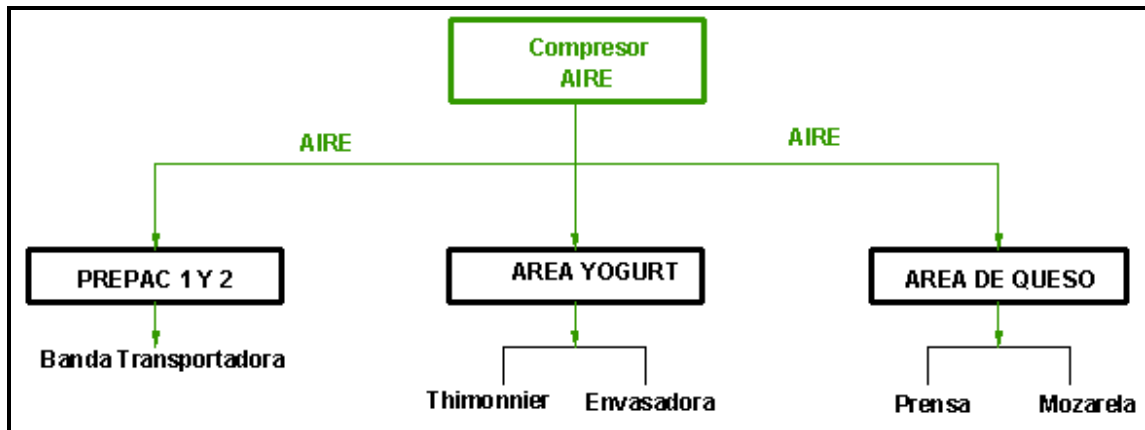


FIG.3.17. ESQUEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Como se puede ver de lo anterior, el aire participa activamente en la producción, liberando a los trabajadores de tareas penosas, ayudando a mejorar la productividad, automatizando y acelerando la producción. Por lo tanto, es importante que este se encuentre funcionando correctamente. El sistema de aire comprimido no cuenta con un mantenimiento adecuado, lo que representa altos costos de funcionamiento para la empresa y reduce la vida útil de la maquinaria a la cual se encuentra proporcionando el fluido. Si a esto se suma que la producción de aire comprimido no es económica, pues se debe pagar aproximadamente 14 USD /día por cada m³/ minuto de aire aspirado por el compresor, es fundamental evaluar la situación actual del sistema y establecer alternativas de mejora.

Con una dedicación propia no excesiva, pueden detectarse algunas mejoras sin inversión, relacionadas con la gestión de compresores, la planificación y el mantenimiento (Resultados Inmediatos). Se detectarán algunas mejoras que requieran una inversión reducida (Resultados a Medio Plazo). Otras mejoras exigen un análisis más detallado (Resultados a largo plazo) y una inversión considerable (Resultados a largo plazo).

3.4.4.1 Inspección general del compresor

El compresor que trabaja en la empresa es el Siemens Schukert de desplazamiento positivo (13.5 HP), el cual es de tipo reciprocante, de dos pistones en V (figura 3.18). Se pudo observar que tiene un buen aspecto exterior. Este se encuentra ubicado en un cuarto donde la temperatura ambiente alcanza los 26 °C.



FIG3.18. COMPRESOR DE 13.5 HP, FUENTE PRINCIPAL DE AIRE COMPRIMIDO

Las especificaciones técnicas del motor eléctrico que hace funcionar al compresor se indican en la tabla 3.12.

TABLA 3.12.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL COMPRESOR PARA AIRE	
Marca	SIEMENS SCHUKERT
Tipo	Reciprocante
Nº de serie	11453620
Modelo	R69n-4
Potencia	13.5 HP
Voltaje	220
Capacidad tanque	51 CFM
Rango de presiones	80 @ 120 psig
Procedencia	Alemania
Fuente: Placa de compresor	

De la información proporcionado por la persona encargado del mantenimiento se pudo conocer que no existen registros de funcionamiento ni de los mantenimiento realizados al compresor. Con lo que tiene que ver con las purgas que se realizan al compresor, se realizan, a las 6 de la tarde, todos los días.

Se puede estimar lo que le supone a la empresa el aire comprimido, si se conoce la potencia de sus compresores. Por ejemplo el compresor que más se usa en ILCSA tiene una potencia de 13.5 HP (10.07 KW), el costo estimado de la energía eléctrica asciende a:

$$\text{Consumo de Energía eléctrica} = 10.07 \text{ Kw} * 11 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 40431.05 [\text{KWh/año}]$$

$$\text{Costo de aire comprimido} = 40431.05 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 3638.8 [\text{USD/año}]$$

Si ha este costo le añadimos que sólo el 5% de la energía eléctrica consumida en un compresor, se convierte en aire comprimido. Es decir, de los 3638.8 USD/año que se gasta en energía eléctrica por cada m³/minuto de aire producido, si no se hace nada, se desaprovechan 3456.86 USD/año.

3.4.4.2 Inspección general de la línea de aire comprimido

En la inspección realizada se pudo observar que algunas partes de la red de aire se encuentran llenas de óxidos. Además, no existe trampas de humedad a la salida del compresor, lo cual resulta perjudicial para la red porque el condensado se convierte en una emulsión tóxica, corrosiva y ácida, generando aumento de rugosidad en la tubería y caídas de presión, De la información dada por el personal de mantenimiento se conoció que recientemente se cambiaron válvulas y se reemplazaron trampas defectuosas.

Como se puede ver el aire comprimido es muy utilizado en la planta y debido al costo alto que tiene su producción, es fundamental realizar un estudio de cómo se encuentra el sistema actual de distribución del aire, para ahorrar energía y abaratar costos en la producción y traslado de este importante fluido.

3.4.5 SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

El agua es un recurso vital en la actualidad, por lo que se debe estar concientes de darle un buen y eficiente uso. El agua en la empresa es utilizada en el preenfriado y pasteurización de la leche, en la elaboración de quesos y yogurt, en la limpieza de la planta, en la limpieza de la maquinaria que esta en contacto con la leche, para el lavado de los tanques de almacenamiento de la leche pasteurizada, para el aseo de los tanqueros con los que cuenta la empresa, para el aseo del personal, etc.

Industria Lechera Carchi abastece todo este consumo de dos formas: 1) Proveniente de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado y 2) Del agua proveniente de un pozo. Estas aguas son juntadas en una cisterna, el agua que sale de la cisterna se la utiliza en lo que es planta y para el aseo del personal. De la cisterna el agua se dirige a una piscina en donde se le da el tratamiento químico para que ingresen a las calderas.

Debido a que la mayor cantidad de agua que se utiliza en Lechera Carchi es la proveniente del pozo, esta no tiene un costo considerable para la empresa, por lo que en esta auditoría solo se propondrán buenas prácticas en el uso de la misma. Además, las tuberías que salen desde la cisterna hacia los diferentes destinos de consumo están enterradas en el suelo por lo que no se puede realizar una evaluación de las condiciones en las que se encuentra estas tuberías. El circuito que recorre el agua según lo explicado anteriormente se indica en la figura 3.19.

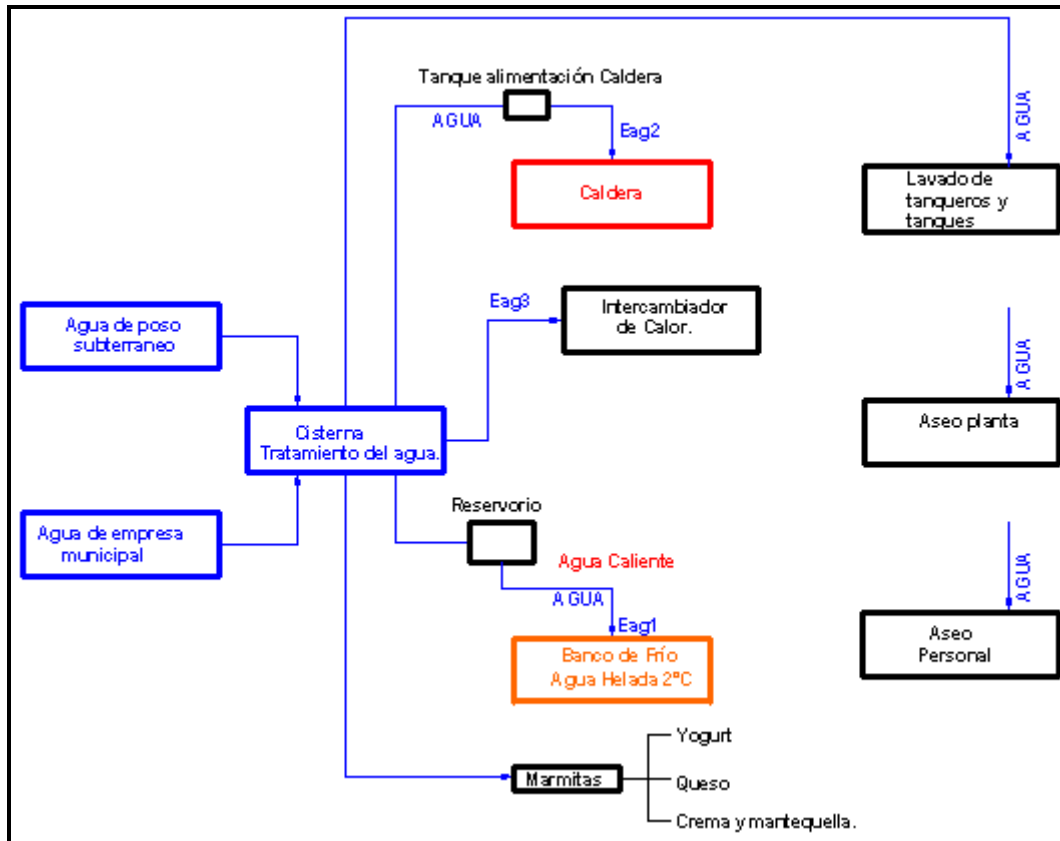


FIG3.19. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN INDUSTRIA CARCHI.

3.4.5.1 Inspecciones generales

Se pudo constatar que en la empresa para el movimiento del agua se utilizan algunas bombas. En la figura 3.19 se puede observar las bombas utilizadas para la distribución de agua fría proveniente del banco de hielo y en la tabla 3.13 las características técnicas de las mismas. El agua enfriada es utilizada en el preenfriado de la leche cruda que llega de las distintas haciendas de la zona y para el proceso de pasteurización. El agua funciona dentro de un circuito cerrado.

Las especificaciones técnicas de las bombas utilizadas para llevar el agua desde el pozo y la recolectada en una piscina proveniente de una cisterna, se dan en la tabla 3.14.



FIG3.20. BOMBAS UTILIZADAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA FRÍA

TABLA 3.13.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS PARA AGUA FRÍA	
Marca	GENERAL ELECTRIC
Modelo	SK4 254A11 IR11
Potencia	10 HP
Voltaje	220
Procedencia	USA
Marca	ASEA
Modelo	2015 HHE-7.5
Potencia	7.5 HP
Voltaje	220
R.P.M	3 500
Procedencia	México
Marca	WEG
Modelo	56C CT-3
Potencia	1/3 HP
Voltaje	220
Procedencia	Venezuela
FUENTE: PLACA DE LAS BOMBAS	

TABLA 3.14.

ILCSA: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS PARA AGUA PROVENIENTE DEL MUNICIPIO Y POSO	
--	--

Marca	SAER
Modelo	32-160
Potencia	5 HP
Voltaje	220
R.P.M	3400
Procedencia	
Marca	SIEMENS
Modelo	089170112002
Potencia	10 HP
Voltaje	220
R.P.M	1 720
Procedencia	Alemania
Marca	MARK
Modelo	DE0029
Potencia	4 HP
Voltaje	220
R.P.M	3500
Procedencia	Brazil
Marca	
Potencia	3 HP
Voltaje	220
R.P.M	3450
Procedencia	
FUENTE: PLACA DE LAS BOMBAS	

Las especificaciones de bombas anteriormente anotadas se las obtuvo de las placas de las mismas, por no existir en la empresa catálogos de las bombas o una hoja técnica donde se especifique rendimientos, caudales, cargas de las bombas.

Se sabe que el agua tiene su costo en energía eléctrica, por lo que es necesaria la concientización del gasto energético del agua. Por lo tanto, para la potencia que tienen las diferentes bombas empleadas en el bombeo del agua (39.833 HP total), el costo y consumo de energía será el siguiente:

$$\text{Consumo de Energía eléctrica} = 29.70 \text{ Kw} * 11 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 119\,259,4 [\text{KWh/año}]$$

$$\text{Costo de aire comprimido} = 119\,259,4 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 10\,733.35 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Como se puede ver el sistema de bombeo de Industria Carchi tiene un costo de 10733 dólares al año, esto representa el 35.21% del costo total que por electricidad tiene la empresa.

CAPÍTULO 4

AUDITORÍA EXERGÉTICA DEFINITIVA

El presente capítulo comienza con la auditoría del sistema de refrigeración, en donde se determina la eficiencia teórica y real del ciclo, luego se hace una comparación relativa entre las dos eficiencias y se realiza la evaluación de la capacidad actual para lo cual se calcula las cargas que tiene el sistema.

Luego, se prosigue con la auditoría del sistema de distribución de electricidad, en donde, se hace un análisis del factor de potencia de la empresa y se establece los niveles de iluminación actuales que tiene las áreas productivas de Industria Carchi para luego compararlos con los niveles recomendados.

Seguidamente se realiza la auditoría del sistema de generación y distribución de vapor, en donde se determina la eficiencia de combustión de la caldera y la eficiencia del generador de vapor, se calcula las pérdidas por chimenea, por paredes de la caldera, pérdidas por purga. Además se determina la ecuación de combustión teórica y real del proceso de combustión. Se

hace una evaluación económica de pérdidas por fugas de vapor y por pérdidas de calor a través del aislamiento térmico de la red de vapor. Este apartado termina con los diagramas de energía y exergía de la caldera de marca York Shipley y un cálculo de la tasa de retorno del condensado.

Finalmente, en el sistema de aire comprimido se hace un análisis de pérdidas que hay en el sistema, un análisis de fugas y se realiza una evaluación del dimensionamiento de la red actual de aire comprimido.

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO

El sistema de refrigeración con amoniaco de Industria Lechera Carchi (Banco de hielo), utiliza para su funcionamiento energía eléctrica, esta energía es consumida por tres dispositivos: el compresor para amoniaco, una bomba y un ventilador pertenecientes al condensador evaporativo. La electricidad consumida por este sistema se utiliza para el preenfriado de la leche cruda que llega de las haciendas y para el enfriado de la leche ya pasteurizada. El sistema de refrigeración tiene un consumo de 23.5 kW y durante el 2006 trabajo aproximadamente 24 horas al día. Lo anterior se puede apreciar en el esquema de la figura 4.1

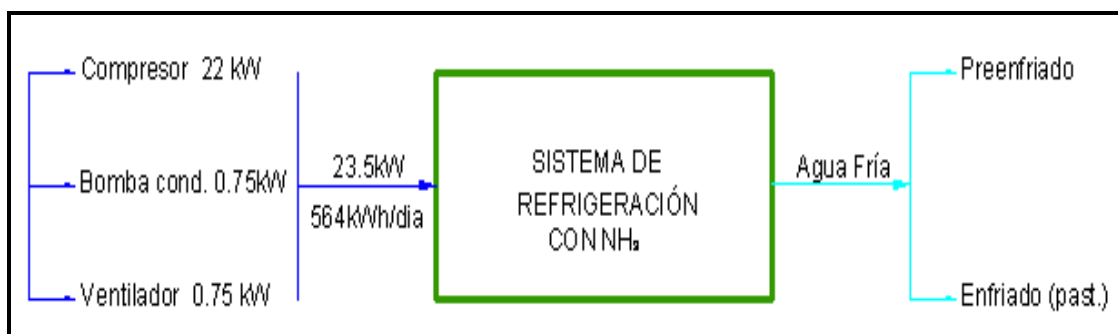


FIG4.1. ESQUEMA DE REPARTO DE CONSUMOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

El sistema de enfriamiento tiene un comportamiento que especifica cuanta energía es removida por cada vatio de energía utilizada, al cual se denomina Coeficiente de Operación (Coefficient Of Performance, COP); y se desea que sea alto para lograr un funcionamiento económico.

El equipo de refrigeración trabaja según un ciclo de compresión de vapor de acuerdo a los puntos de ajuste de las presiones y temperaturas del refrigerante en su paso por el condensador a temperatura alta y en su paso por el evaporador a temperatura baja. Estos puntos tienen rangos óptimos que dan lugar a los menores consumos de energía. Para evaluar el funcionamiento del sistema de refrigeración, se requiere de un estudio no sólo de los procesos particulares que constituyen el ciclo, sino también de las relaciones que existen entre

los diferentes procesos y los efectos que un cambio en cualquiera de los procesos del ciclo tendría en los demás procesos.

Para su análisis se usan gráficas y diagramas sobre los cuales se pueden mostrar en forma gráfica el ciclo completo. Los diagramas que con frecuencia se usan en el análisis del ciclo de refrigeración son de presión-entalpía (p-h) y temperatura-entropía (t-s), pero de los dos, el de más utilidad es el diagrama presión-entalpía. Entonces, se procede con la evaluación de las condiciones actuales del sistema de refrigeración con amoníaco de Industria Lechera Carchi, utilizando el diagrama p-h del R-717 (amoníaco).

En la tabla 4.1 se observan los parámetros de funcionamiento del equipo tanto en el lado de baja, como en el lado de alta. Estos datos para el análisis del sistema de refrigeración fueron obtenidos de los instrumentos que se encuentran en el compresor, evaporador, banco de hielo y receptor de refrigerante del equipo de refrigeración. Los valores de presión y temperatura que se indica en la tabla 4.1 son los valores medios de los datos que durante dos días se tomo en el sistema de refrigeración de amoníaco y están dados en el anexo 2 (código RC1).

TABLA 4.1

ILCSA: PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO EQUIPO DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO								
PARÁMETRO	Psuc	Pdsc	Ts	Td	Tbh	Tamb	Pr	Pe
UNIDADES SI	2.68 Kg/cm ²	15.71 Kg/cm ²	5.67 °C	115.81 °C	5.01 °C	14.67 °C	14.51 Kg/cm ²	2.95 Kg/cm ²
UNIDADES INGLESAS	38.13 psig	223.55 psig	42.21 °F	240.46 °F	41.02 °F	58.41 °F	206.48 psig	41.98 psig
UNIDADES SI	262.68 KPa	1540.04 KPa	5.67 °C	115.81 °C	5.01 °C	14.67 °C	1422.44 KPa	289.20 KPa

FUENTE: ANEXO 2, CÓDIGO RC2

4.1.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO SATURADO SIMPLE

Para el análisis del ciclo de refrigeración de amoníaco como un ciclo saturado simple se ha elaborado un esquema del sistema de refrigeración (anexo C). Un ciclo saturado simple es un ciclo teórico en el que se supone que el vapor refrigerante que sale del evaporador y entra al compresor es vapor saturado a la temperatura y presión vaporizante y el líquido refrigerante que sale del condensador y llega al control del refrigerante es un líquido saturado a la temperatura y presión del condensante. En tal ciclo, los procesos fundamentales son la base para identificar con facilidad el ciclo de refrigeración y además, utilizando como estándar el ciclo saturado simple se puede comparar con el ciclo real y obtener el coeficiente de funcionamiento del ciclo de refrigeración.

El punto A (anexo C) puede describirse como algún punto próximo a la parte inferior del condensador donde termina el proceso de condensación como líquido saturado a la temperatura y presión del condensante. Las propiedades del refrigerante en este punto

obtenidas de las tablas de saturación del amoníaco, son:

$$p_A = 1540.04 \text{ KPa manométricos}$$

$$T_A = 41.23 \text{ }^\circ\text{C temperatura saturación}$$

$$h_A = 392.31 \text{ KJ/Kg}$$

$$v_A = 0.17317 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Proceso de estrangulación (A-B)

El proceso descrito por los puntos estado inicial y final A-B suceden en el control de flujo del refrigerante (válvula de expansión) cuando la presión y temperatura del líquido es reducida desde la presión condensante hasta la presión y temperatura de evaporización a medida que el líquido pasa a través de la válvula de control. El proceso A-B es un estrangulamiento, en el cual la entalpía del fluido no cambia durante el proceso, Se supone que esto ocurre sin ganancia ni pérdida de calor y sin la realización de un trabajo. Como resultado de la vaporización parcial del refrigerante líquido durante el proceso A-B, el refrigerante en el punto B es una mezcla líquido-vapor cuyas propiedades termodinámicas son:

$$p_B = 262.68 \text{ KPa manométricos}$$

$$T_B = -6.74 \text{ }^\circ\text{C Temperatura de saturación}$$

$$h_B = h_A = 392.31 \text{ KJ/Kg}$$

$$x_B = 13.74 \%$$

$$v_B = 0.07035 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$x = \frac{h_B - h_f}{(h_f + h_g)} \quad (4-1)$$

$$x = \frac{392.31 - 169.31}{(169.31 + 1453.19)}$$

$$x = 0.1374 \rightarrow 13.74\%$$

Proceso de evaporización (B-C)

El proceso B-C es la vaporización del refrigerante en el evaporador. Debido a que la vaporización se efectúa a temperatura y presión constante, el proceso B-C es tanto isotérmico como isobárico. En el punto C el refrigerante está en su totalidad vaporizado y es un vapor saturado a la temperatura y presión vaporizante. Las propiedades del refrigerante en el punto C, se obtienen de las tablas de saturación del amoníaco (anexo C). Las propiedades del refrigerante en el punto C son:

$$p_C = 262.68 \text{ KPa manométricos}$$
$$T_C = -6.74 \text{ °C Temperatura de saturación}$$
$$h_C = 1453.19 \text{ KJ/Kg}$$
$$v_C = 0.3676 \text{ m}^3/\text{Kg}$$
$$s_C = 5.7092 \text{ KJ/Kg K}$$

Proceso de compresión (C-D)

El proceso C-D se efectúa en el compresor a medida que se incrementa la presión del vapor debido a la compresión desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación. Se supone que en un ciclo saturado simple, el proceso de compresión C-D es isoentrópico. Debido a que no se tiene cambio en la entropía del vapor durante el proceso C-D, la entropía del refrigerante en el punto D es la misma que en el punto C. En el punto D el refrigerante es un vapor sobrecalentado cuyas propiedades (gráfica p-h, anexo C) son:

$$p_D = 1540.04 \text{ KPa manométricos}$$
$$T_D = 110 \text{ °C Fuente tabla 4.1 Temperatura de descarga}$$
$$h_D = 1700 \text{ KJ/Kg}$$
$$s_D = 5.7092 \text{ KJ/KgK}$$

Como resultado de absorción de calor en la compresión, el vapor descargado por el compresor está en la condición de sobrecalentado.

Proceso de condensación (D-A)

Antes de que el vapor se condense debe eliminarse el sobrecalentamiento del vapor bajando la temperatura del vapor descargado hasta la temperatura de saturación correspondiente a su presión. Por lo general, tanto los procesos D-E como E-A toman lugar en el condensador a medida que el gas caliente descargado del compresor es enfriado hasta la temperatura condensante y después condensado. En el punto E, el refrigerante es un vapor saturado a la temperatura y presión condensante, sus propiedades se obtienen de las tablas de saturación del amoníaco (anexo C).

$$p_E = 1540.04 \text{ KPa manométricos}$$
$$T_E = 41.23 \text{ °C temperatura de saturación}$$
$$h_E = 1490 \text{ KJ/Kg}$$

En la tabla 4.2 se tienen las entalpías en cada punto del sistema y en la gráfica p-h del R-717 (anexo C) se ha graficado el comportamiento del sistema como un ciclo saturado simple.

TABLA 4.2

ILCSA: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE EN EL CICLO SATURADO SIMPLE					
	PRESIÓN [kPag]	TEMPERATURA [°C]	ENTALPIA [kJ/Kg]	TITULO [%]	CONDICIÓN DEL REFRIGERANTE
A	1540.04	41.23	392.31	-----	Líquido saturado.
B	262.68	-6.74	392.31	13.74	Mezcla líquido-vapor.
C	262.68	-6.74	1453.19	-----	Vapor saturado.
D	1540.04	110	1700.00	-----	Vapor sobrecalentado.
E	1540.04	41.23	1490.00	-----	Vapor saturado.
FUENTE: ANEXO 3 Y TABLAS DE PROPIEDADES DEL NH₃					

4.1.1.1 Cálculo del COP en el ciclo saturado simple

Para calcular el coeficiente de operación del sistema de refrigeración, se inicia obteniendo el efecto refrigerante para después encontrar el trabajo de compresión, estas cantidades se las calcula con las expresiones 4-2 y 4-3 respectivamente:

Efecto refrigerante “q_e”

Cantidad de calor absorbido por el refrigerante en el evaporador.

$$q_e = h_C - h_B \quad [\text{kJ/kgm}] \quad (4-2)$$

$$q_e = 1453.19 - 392.31$$

$$q_e = 1060.88 \quad [\text{kJ/kgm}]$$

Trabajo de compresión “w_c”

Energía equivalente al trabajo efectuado durante el proceso de compresión.

$$w_c = h_D - h_C \quad [\text{kJ/kgm}] \quad (4-3)$$

$$w_c = 1700 - 1453.19$$

$$w_c = 246.81 \quad [\text{kJ/kgm}]$$

Coficiente de funcionamiento “C.O.P”

Es la relación entre el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador y el calor de compresión y siempre es mayor a la unidad.

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w_c} \quad (4-4)$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = \frac{1060.88 \text{ [kJ/kgm]}}{246.81 \text{ [kJ/kgm]}}$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = 4.30$$

4.1.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO REAL

Para el análisis del ciclo de refrigeración con amoníaco como un ciclo real se ha elaborado un esquema del sistema de refrigeración (anexo C). Los ciclos reales de refrigeración divergen del ciclo saturado simple. Debido a que en el ciclo saturado simple, se desprecia la caída de presión que experimenta el fluido al paso por tuberías, evaporador, condensador, etc. Además, no se considera el subenfriamiento del líquido ni el sobrecalentamiento del vapor en la tubería de succión. También se supone que la compresión es isoentrópica.

Para el análisis del ciclo real se utiliza el diagrama p-h del R717 (amoníaco, anexo C). Se inicia el análisis por el punto A, en este punto se tiene líquido saturado a la presión condensante. Las propiedades del punto A se las obtuvo de las tablas de saturación del amoníaco y son:

$$p_A = 1422.44 \text{ KPa manométricos}$$

$$T_A = 39^\circ\text{C} \text{ Temperatura de saturación}$$

$$h_A = 380 \text{ KJ/Kg}$$

El punto B, se obtiene considerando entalpía constante hasta intersectar con la línea de presión en el evaporador. En la intersección de estas dos líneas se establece el estado B cuyas propiedades son:

$$p_B = 289.20 \text{ KPa manométricos}$$

$$T_B = -2.5^\circ\text{C}$$

$$h_B = h_A = 380 \text{ KJ/Kg}$$

$$x_B = 12.5 \%$$

$$x = \frac{h_B - h_f}{(h_f + h_g)}$$

$$x = \frac{380 - 176.19}{(1176.19 + 1449.12)} = 0.125 \quad \Rightarrow \quad x = 12.5\%$$

Después que el líquido refrigerante ha sido por completo evaporado en el evaporador, el vapor saturado frío, por lo general continua absorbiendo calor volviéndose por lo tanto sobrecalentado, cuando este llega al compresor. Con la presión a la entrada del compresor y la

temperatura de succión (T_s), se obtienen las propiedades del refrigerante en el punto C (anexo C). Las propiedades del refrigerante en este punto son:

$$p_C = 262.68 \text{ KPa manométricos}$$

$$T_s = T_C = 5.67 \text{ °C (Temperatura de succión fuente tabla 4.1)}$$

$$h_C = 1490 \text{ KJ/Kg}$$

Se supone que en un ciclo saturado simple, el proceso de compresión C-D es isoentrópico, pero el ciclo de refrigeración real, por lo general se desvía de la verdadera compresión isoentrópica. Entonces, para encontrar el punto D sobre el diagrama p-h (anexo C), se lo hace con base a la presión y temperatura en la descarga. Las propiedades de este estado son:

$$p_D = 1540.22 \text{ KPa relativos}$$

$$T_D = 115.81 \text{ °C}$$

$$h_D = 1780 \text{ KJ/Kg}$$

Una vez que se ha graficado los puntos anteriores sobre el diagrama p-h del anexo C, se puede encontrar las características del punto C', cuyas propiedades son:

$$p_{C'} = 306.11 \text{ KPag}$$

$$T_{C'} = 2.50 \text{ °C}$$

$$h_{C'} = 1450 \text{ KJ/Kg}$$

En la tabla 4.3 se tienen las entalpías y condiciones del refrigerante en el ciclo de refrigeración real.

TABLA 4.3

ILCSA: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE EN EL CICLO REAL					
	PRESIÓN [kPa]	TEMPERATURA [°C]	ENTALPIA [kJ/Kg]	TITULO [%]	CONDICIÓN DEL REFRIGERANTE
A	1422.44	39.00	380.00	-----	Líquido subenfriado
B	289.20	-2.50	380.00	12.5	Mezcla líquido-vapor
C	262.68	5.67	1490.00	-----	Vapor sobrecalentado
C'	306.11	2.50	1450.00	-----	Vapor saturado
D	1540.04	115.81	1780.00	-----	Vapor sobrecalentado

FUENTE: ANEXO 3 Y TABLAS DE PROPIEDADES DEL NH₃

4.1.2.1 Cálculo del COP en el ciclo de refrigeración real

Efecto refrigerante “ q_e ”

$$q_e = h_C - h_B \text{ [kJ/kgm]}$$

$$q_e = 1450 - 380$$

$$q_e = 1070 \text{ [kJ/kgm]}$$

Calor de compresión “ w_c ”

$$w_c = h_D - h_C \text{ [kJ/kgm]}$$

$$w_c = 1780 - 1490$$

$$w_c = 290 \text{ [kJ/kgm]}$$

Coefficiente de funcionamiento “C.O.P”

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w_c}$$

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = \frac{1070 \text{ [kJ/kgm]}}{290 \text{ [kJ/kgm]}} \Rightarrow \text{COP}_{\text{REAL}} = 3.69$$

4.1.3 RELACIÓN ENTRE EL COP TEÓRICO Y EL COP REAL

La relación entre el COP_{REAL} y el $\text{COP}_{\text{TEÓRICO}}$ se denomina como la eficiencia del refrigerante, y se calcula mediante la expresión:

$$\eta_R = \frac{\text{COP}_{\text{REAL}}}{\text{COP}_{\text{TEÓRICO}}} \quad (4-5)$$

$$\eta_R = \frac{3.69}{4.30} \Rightarrow \eta_R = 0.858$$

Un valor de η recomendado⁵ para el amoníaco es de 0.83. El valor calculado de la eficiencia del refrigerante es muy cercano al valor recomendado por el Conae. Entonces se puede concluir que el sistema se encuentra trabajando bien, pero, como se puede notar en el anexo B (código RC1) existen temperaturas altas y bajas en el banco de hielo, lo cual se debe evitar. Además, de que el banco como esta trabajando como tal.

Otra forma como podemos evaluar el COP del sistema de refrigeración es calculando el porcentaje de error que existe entre el valor de COP ideal y el valor de COP real., a través de la

⁵ Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía “CONAE”.

expresión 4-6:

$$\%Error = \frac{COP_{TEÓRICO} - cop_{REAL}}{COP_{TEÓRICO}} * 100 \quad (4-6)$$

$$\%Error = \frac{4.30 - 3.69}{4.30} * 100 \quad \Rightarrow \quad \%Error = 14.19\%$$

El margen de error se debería volver a evaluar, luego de que el banco opere como tal y que se haga mantenimiento en el condensador.

4.1.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO

La capacidad de un equipo de refrigeración se expresa en Btu/h o kJ/h y representa la carga de enfriamiento total para periodos de 24 horas dividida para el tiempo de funcionamiento deseado del equipo. La carga de enfriamiento del equipo es la suma de cargas térmicas en las que están involucradas diferentes fuentes como: ganancia de carga a través de paredes, ganancia de carga por cambio de aire (sólo en cuartos fríos), la carga de producto y cargas varias (personas, luz, calor de motores, etc.). Pero, no necesariamente todas estas fuentes de calor intervienen en todos los casos y la importancia de cualquiera de estas fuentes de calor con respecto a la carga de enfriamiento total varía considerablemente para cada aplicación específica.

Para el análisis del sistema de refrigeración (Banco de hielo) de Industria Carchi se tomará en cuenta la ganancia de calor a través de paredes del banco de hielo y la carga del producto (cantidad de agua hacer enfriada).

4.1.4.1 Análisis de ganancia de calor en las paredes del banco de hielo

En refrigeración o producción de frío, se desea eliminar calor con el fin de reducir y mantener la temperatura de un espacio o sustancia a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes, transfiriéndola a otro cuerpo cuya temperatura es inferior a la del cuerpo refrigerado. Debido a que el calor siempre fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, siempre se tendrá un flujo de calor hacia la región refrigerada de los alrededores calientes. Para eliminar el flujo de calor hacia la región refrigerada de manera que sea un mínimo, resulta necesario aislar la región de sus alrededores con un material aislante de calor.

Analizando el estado actual del banco de hielo de Industria Lechera Carchi S.A, desde un punto de vista energético, se calculará la ganancia de energía que se tiene a través de paredes del banco de hielo. Para abordar el problema se tomo datos del banco de hielo tales como:

longitudes (figura 4.2); temperaturas del agua y ambiente circundante a este, lo que se puede observar en el anexo B (código RC1).

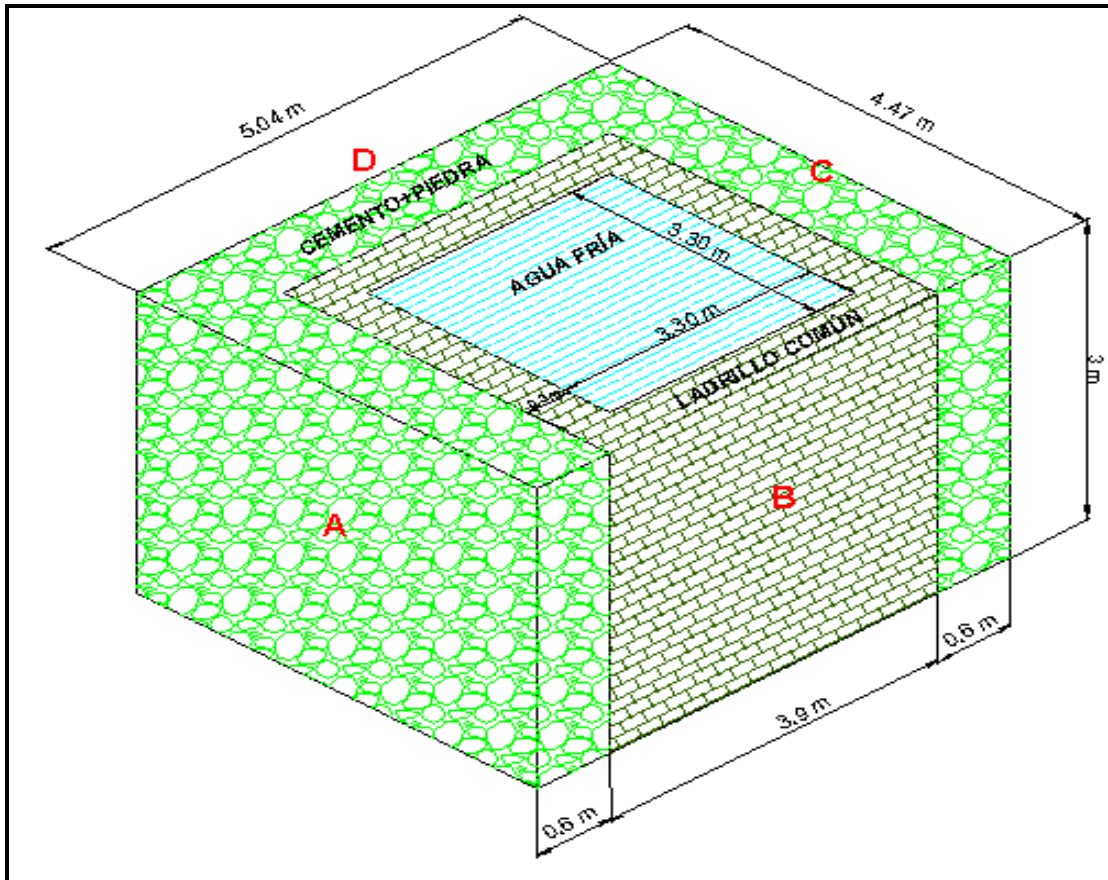


FIG.4.2. DIMENSIONES DEL BANCO DE HIELO

El banco de hielo de Industria Carchi está compuesto por una pared de ladrillo común y una pared de cemento mezclada con piedra pequeña (Cemento duro), estas dos paredes constituyen el material aislante del banco de hielo. Estos materiales ofrecen una resistencia al paso de calor desde los exteriores hasta el agua fría, dicha característica resistiva está dada por el coeficiente de conductividad térmica de cada material. Para determinar la cantidad de energía que recibe el banco de hielo del medio se utilizara la analogía eléctrica. La cual hace una semejanza con electricidad y establece que la conductividad térmica del material es una resistencia térmica (equivalente a la resistencia en electricidad).

Para ejemplificar lo anterior se considera la pared A del banco de hielo (figura 4.2). Primeramente esta pared recibirá influjo de calor por convección en donde el caloportador será el aire circundante al banco, el cual tendrá como característica principal el coeficiente de transmisión de calor por convección " h_{cv} ", en este caso se tiene una resistencia térmica por convección " R_{cv} ".

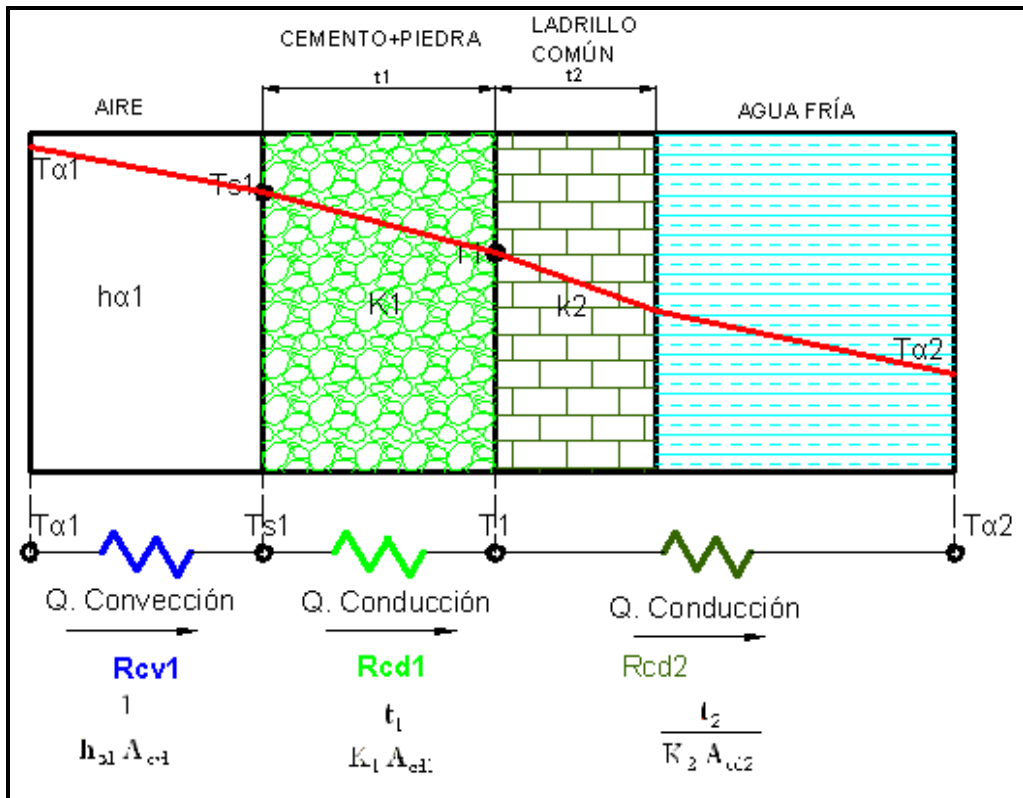


FIG4.3. ANALOGIA ELÉCTRICA PARED "A" DEL BANCO DE HIELO

Seguidamente existe un flujo de calor por conducción a través de las paredes de ladrillo común y cemento duro, las cuales ofrecerán una resistencia térmica por conducción "R_{cd}". Por último existe una transferencia de calor por radiación, debido a que el banco de hielo se encuentra ubicado en un cuarto al aire libre donde recibe radiación solar. Todo lo anteriormente explicado se indica en la figura 4.3.

Por lo tanto el calor total en la pared A se lo obtendrá con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{PARED A}} = Q_c + Q_r$$

Donde:

$Q_c \rightarrow$ Ganancia de calor por conducción y por convección natural.

$Q_r \rightarrow$ Ganancia de calor por radiación.

Ganancia de calor en la pared A y C

Datos

$k_1 := 1.047 \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del cemento duro
$k_2 := 0.52 \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del ladrillo común
$T_{\alpha 1} := 15.64 + 273.51$	K Temperatura del medio ambiente
$T_{s1} := 8 + 273.15$	K Temperatura pared exterior del banco de hielo
$T_{s2} := 2 + 273.15$	K Temperatura agua del banco de hielo
$t_1 := 0.6$	m Espesor de pared de cemento duro
$t_2 := 0.3$	m Espesor de pared de ladrillo común
$w_{ac} := 4.47$	m Ancho de la pared A y C
$w_{bd} := 5.04$	m Ancho de la pared B y D
$h_a := 3$	m Altura del banco de hielo
$w_i := 3.30$	m Ancho interior del banco de hielo
$g := 9.7799 \frac{m}{s^2}$	Aceleración de la gravedad en la línea ecuatorial
$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$	Constante de Steffan Boltzman
$\varepsilon := 1$	Emisividad

Propiedades del aire a T_{m1}

$$T_{m1} := \frac{T_{\alpha 1} + T_{s1}}{2} \quad (4-7)$$

$$T_{m1} = 285.15 \quad K$$

Las propiedades del aire a T_{m1} son:

$$k_{\alpha 1} := 25.098 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{Conductividad térmica del aire a } 11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\nu_{\alpha 1} := 12.411 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire.}$$

$Pr_{\alpha 1} := 0.710\text{€}$ (adimencional) Número de Prandt

$Cp_{\alpha 1} := 1.0067 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ Calor específico del aire

$$\beta_{\alpha 1} := \frac{1}{T_{m1}}$$

$\beta_{\alpha 1} = 3.507 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ Coeficiente volumétrico de expansión térmica

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$Gr_{\alpha 1} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s1}) \cdot w_{ac}^3}{\nu_{\alpha 1}^2} \quad (4-8)$$

$Gr_{\alpha 1} = 1.591 \times 10^{11}$ (adimencional)

El número de Nusselt se calcula con la siguiente expresión:

$$Nu_{f\alpha 1} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (4-9)$$

$Nu_{f\alpha 1} = 546.831$ (adimencional)

El coeficiente de convección $h_{\alpha 1}$ queda:

$$h_{\alpha 1} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nu_{f\alpha 1}}{w_{ac}} \quad (4-10)$$

$h_{\alpha 1} = 3.07 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

Cálculo de la resistencia R_{cv1} tanto para la pared A y C:

$$R_{cv1} := \frac{1}{h\alpha 1 \cdot wac \cdot ha} \quad (4-11)$$

$$R_{cv1} = 0.024 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R_{cd1} tanto para la pared A y C:

$$R_{cd1} := \frac{t1}{k1 \cdot wac \cdot ha} \quad (4-12)$$

$$R_{cd1} = 0.043 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R_{cd2} tanto para la pared A y C:

$$R_{cd2} := \frac{t2}{k2 \cdot (wi + 2 \cdot t2) \cdot ha} \quad (4-13)$$

$$R_{cd2} = 0.049 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared A y C será:

$$Q_c := 2 \cdot \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s2}}{R_{cv1} + R_{cd1} + R_{cd2}} \right) \quad (4-14)$$

$$Q_c = 240.691 \quad \text{Watts}$$

La ganancia de calor por radiación será:

$$Q_r := 2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (wac \cdot ha) \cdot (T_{\alpha 1}^4 - T_{s1}^4) \quad (4-15)$$

$$Q_r = 1.128 \times 10^3 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor en la pared A y C será de:

$$Q_{ac} := Q_c + Q_r \quad (4-16)$$

$$Q_{ac} = 1.369 \times 10^3 \quad \text{Watts}$$

Ganancia de calor en la pared D:

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$\underline{Gr_{\alpha 1}} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s 1}) \cdot w b d^3}{\nu_{\alpha 1}^2}$$

$$Gr_{\alpha 1} = 2.28 \times 10^{11} \quad (\text{adimensional})$$

El número de Nusselt se calcula con la siguiente expresión:

$$\underline{Nu_{\alpha 1}} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu_{\alpha 1} = 614.03 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de convección $h_{\alpha 1}$ queda:

$$\underline{h_{\alpha 1}} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nu_{\alpha 1}}{w a c}$$

$$h_{\alpha 1} = 3.448 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Cálculo de la resistencia R_{cv1} pared D:

$$\underline{R_{cv1}} := \frac{1}{h_{\alpha 1} \cdot w b d \cdot h_a}$$

$$R_{cv1} = 0.019 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R_{cd1} pared D:

$$R_{cd1} := \frac{t1}{k1 \cdot wbd \cdot ha}$$

$$R_{cd1} = 0.038 \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia Rcd₂ pared D:

$$R_{cd2} := \frac{t2}{k2 \cdot (wi + 2 \cdot t2) \cdot ha}$$

$$R_{cd2} = 0.049 \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared D será:

$$Q_c := \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s2}}{R_{cv1} + R_{cd1} + R_{cd2}} \right)$$

$$Q_c = 131.586 \text{ Watts}$$

La ganancia de calor por radiación será:

$$Q_r := \varepsilon \cdot \sigma \cdot (wbd \cdot ha) \cdot (T_{\alpha 1}^4 - T_{s1}^4)$$

$$Q_r = 636.195 \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor en la pared D será de:

$$Q_d := Q_c + Q_r$$

$$Q_d = 767.781 \text{ Watts}$$

Ganancia de calor en la pared B:

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$\underline{Gr_{\alpha 1}} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s 1}) \cdot wbd^3}{\nu_{\alpha 1}^2}$$

$$Gr_{\alpha 1} = 2.28 \times 10^{11} \quad (\text{adimenciona})$$

El número de Nusseft se calcula con la siguiente expresión:

$$\underline{Nuf_{\alpha 1}} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nuf_{\alpha 1} = 614.03 \quad (\text{adimenciona})$$

El coeficiente de conveccion $h_{\alpha 1}$ queda:

$$\underline{h_{\alpha 1}} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nuf_{\alpha 1}}{wac}$$

$$h_{\alpha 1} = 3.448 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Cálculo de la resistencia R_{cv1} pared B:

$$\underline{R_{cv1}} := \frac{1}{h_{\alpha 1} \cdot wbd \cdot ha}$$

$$R_{cv1} = 0.019 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R_{cd2} pared B:

$$\underline{R_{cd2}} := \frac{t2}{k2 \cdot (wi + 2 \cdot t2) \cdot ha}$$

$$R_{cd2} = 0.049 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared B será:

$$Q_c := \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s 2}}{R_{cv1} + R_{cd2}} \right)$$

$$Q_c = 204.4 \quad \text{Watts}$$

La ganancia de calor por radiación será:

$$Q_r := \varepsilon \cdot \sigma \cdot (wbd \cdot ha) \cdot (T_{\alpha 1}^4 - T_{s 1}^4)$$

$$Q_r = 636.195 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor en la pared B será de:

$$Q_b := Q_c + Q_r$$

$$Q_b = 840.595 \quad \text{Watts}$$

La ganancia de calor a través de las paredes del banco de hielo será igual a:

$$Q_{\text{banco}} := Q_{ac} + Q_d + Q_b$$

$$Q_{\text{banco}} = 2.978 \times 10^3 \quad \text{Watts}$$

De los cálculos anteriores se ha determinado que el sistema de refrigeración de amoniaco tiene que enfriar alrededor de 3 kW extras debido al aislamiento del banco de hielo.

$$Q_{\text{PAREDES BANCO}} = 2.98 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{PAREDES BANCO}} = 10728 \text{ [kJ/h] carga horaria}$$

4.1.4.2 Cálculo de la carga del producto

La carga del producto la constituye el calor que debe ser eliminado del producto refrigerado a

fin de que la temperatura del mismo baje hasta el nivel deseado. La carga de enfriamiento sobre el equipo de refrigeración (banco de hielo) de Industria Carchi resulta del enfriamiento de agua y es continua. El flujo del líquido que está siendo enfriado y que pasa a través del enfriador, es continuo ya que entra líquido caliente al enfriador y sale líquido frío del mismo, por lo que constituye una parte considerable de la carga total en el equipo.

Como una parte del producto va a hacer congelado, la carga del producto se calcula de la siguiente forma:

- El calor cedido por el agua en enfriarse desde la temperatura de ingreso hasta la temperatura de congelación.
- El calor cedido por el agua durante su solidificación. En las actuales circunstancias de funcionamiento del equipo (Estar prendido cuando se está pasteurizando) no se forma una capa de hielo sobre los tubos del evaporador, por lo que no cumple la función de un banco de hielo. Entonces, bajo estas condiciones de funcionamiento el calor cedido por el agua durante su solidificación es nulo (no hay).

El calor cedido por el agua al enfriarse desde la temperatura que se tiene en el banco de hielo (aprox. 5°C), hasta la temperatura de congelación (aprox. 0°C). Dependerá de la temperatura del espacio refrigerado (banco de hielo), de la masa de agua, calor específico y de la temperatura que tenga el producto al final. En este caso, el calor cedido por el agua en el banco de hielo, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Producto}} = m_{\text{agua}} * c * \Delta T \quad (4-17)$$

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}} \quad (4-18)$$

$$m_{\text{agua}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (3.3 \times 3.3 \times 3) \text{m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 32670 \text{ kgm de agua}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 32670 \text{ kgm} * 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kgm} * \text{K}} * (278 - 273) \text{K}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 689337 \text{ [kJ/13h]} \quad \text{Dividido para 13 horas}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 53025.92 \text{ [kJ/h]} \quad \text{Carga horaria}$$

La carga total de enfriamiento es la suma de las ganancias de calor individuales calculadas anteriormente, así:

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}} = Q_{\text{Paredesbanco}} + Q_{\text{Agua}} \quad (4-19)$$

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}} = 10728 + 53025.92 \quad [\text{kJ/h}]$$

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}} = 63753.92 \quad [\text{kJ/h}]$$

La potencia real demanda por el compresor en estas circunstancias, se la calcula con la siguiente expresión:

$$\text{COP}_{\text{Real}} = \frac{Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}}}{\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}}} \Rightarrow \dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}} = \frac{Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}}}{\text{COP}_{\text{Real}}} \quad (4-20)$$

$$\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}} = \frac{63753.92 \text{ kJ/h}}{3.69}$$

$$\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}} = 17277.49 \quad [\text{kJ/h}] \Rightarrow \dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}} = 4.79 \quad [\text{kW}]$$

La conclusión principal que se puede formular por el cálculo anterior, es que, bajo las circunstancias actuales de funcionamiento del banco de hielo (Estar prendido cuando se está pasteurizando), la potencia que consume el compresor es de 5 kW. Esta potencia es menor de la que se encuentra actualmente instalada que es de 22 kW, esto se debe al hecho de que el banco se encuentra funcionando mal (no esta trabajando como un banco de hielo). Por lo tanto, el equipo no consume todo su potencial de trabajo.

4.1.5 ANÁLISIS EXERGÉTICO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La eficiencia de la primera ley por sí sola no es una medida realista del desempeño de los dispositivos técnicos. Para superar esta deficiencia, se define a la eficiencia de la segunda ley η_{II} como la relación entre la eficiencia térmica real y la eficiencia térmica máxima posible (reversible) bajo las mismas condiciones. Por lo tanto, el análisis exergético del sistema de refrigeración de Industria Carchi tiene como objetivo hacer una referencia al mejor desempeño posible (potencial de trabajo disponible) de los dispositivos técnicos empleados en dicho proceso, a la luz de la segunda ley de la termodinámica.

Exergia en el evaporador

TABLA 4.4.

ILCSA: CONDICIONES DE INGRESO DEL REFRIGERANTE AL EVAPORADOR						
$P_{\text{Evaporador}}$	$P_{\text{Eaporador}}$	T_{Entrada}	Agua	T_{Salida}	Agua	Caudal agua

Kg/cm ²	Kpag	°C	°C	GPM
2.95	289.2	8.00	4.85	52

FUENTE : INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A

Bajo estas condiciones se encontró las siguientes propiedades termodinámicas:

$$h_f @ 289.2 \text{ kPag} = h_1 = 176.19 \text{ KJ / Kg.}$$

$$h_g @ 289.2 \text{ kPag} = h_2 = 1455.14 \text{ KJ / Kg.}$$

$$s_f @ 289.2 \text{ kPag} = s_1 = 0.9124 \text{ KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$s_g @ 289.2 \text{ kPag} = s_2 = 5.6851 \text{ KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

El cambio de exergía de una corriente de fluido (amoníaco) cuando experimenta un proceso desde el estado 1 hasta el 2 es:

$$\Delta\psi = (\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (h_1 - h_2) + [T_o \times (s_1 - s_2)] \quad (4-21)$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (176.19 - 1455.14) - [293 \times (0.9124 - 5.6851)]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = 119.45 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Cálculo de la exergía de la corriente de agua.

$$c_p \text{ agua} = 4.22 \text{ KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{K.}$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{\text{agua}} = [c_p \times (T_2 - T_1)] - \left\{ T_o \times \left[c_p \times \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right] \right\} \quad (4-22)$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{\text{agua}} = [4.22 \times (277.85 - 281)] - \left[293 \times \left[4.22 \times \ln \left(\frac{277.85}{281} \right) \right] \right]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{\text{agua}} = 0.6459 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

La eficiencia del intercambiador según la segunda ley es:

$$m_{NH_3} = 273.13 \text{ Kg / hr.}$$

$$m_{\text{agua}} = 11825 \text{ Kg / hr. (Fuente placa motor de 3 HP, 52 GPM)}$$

$$\eta_{II.Ley} = \frac{m_{\text{agua}} \times (\psi_{sal} - \psi_{ent})_{\text{agua}}}{m_{NH_3} \times (\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3}} \quad (4-23)$$

$$\eta_{II.Ley} = \frac{11825 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} * 0.6459 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{273.13 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} * 119.45 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \eta_{II.Ley} = 23.41\%$$

Condensadores Evaporativo

TABLA 4.5.

ILCSA: CONDICIONES DE INGRESO DEL REFRIGERANTE AL CONDENSADOR EVAPORATIVO MARCA MYCOM				
$P_{des. NH_3}$	$P_{desc. NH_3}$	$T_{ent. NH_3}$	$T_{sal. NH_3}$	$m NH_3$
Kg/cm^2	$kPag$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	Kg / h
15.71	1540	115.81	39	273.19
FUENTE : INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A				

$$T_{entrada H_2O} = 15.64 \text{ }^{\circ}C = 288.64 \text{ }^{\circ}K.$$

$$T_{salida H_2O} = 75 \text{ }^{\circ}C = 348 \text{ }^{\circ}K.$$

$$T_{ambiente} = 15.64 \text{ }^{\circ}C = 288.64 \text{ }^{\circ}K.$$

$$T_{salida aire} = 75 \text{ }^{\circ}C = 348 \text{ }^{\circ}K.$$

$$\text{Caudal } H_2O = 95 \text{ GPM} = 24.5592 \text{ m}^3/h.$$

(Fuente placa bomba de 1HP).

$$\text{Caudal de aire} = 4200 \text{ CFM} = 252000 \text{ CFH}.$$

(Fuente placa ventilador 1HP).

En las condiciones de entrada y salida del amoniaco antes mencionadas se encontró las siguientes propiedades termodinámicas.

$$h_1 = 1780 \text{ KJ / Kg.}$$

$$h_2 = 380 \text{ KJ / Kg.}$$

$$s_1 = 5.73 \text{ KJ / Kg. }^{\circ}K$$

$$s_2 = 1.6153 \text{ KJ / Kg. }^{\circ}K$$

Cálculo de la exergía de la corriente de amoniaco,

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (h_1 - h_2) - [T_o \times (s_1 - s_2)]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (1780 - 380) - [293 \times (5.73 - 1.6153)]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = 194.39 \frac{KJ}{Kg}$$

Cálculo de la exergía de la corriente de agua

$$c_p \text{ agua} = 4.22 \text{ KJ / Kg. }^{\circ}K.$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{agua} = c_p \times (T_2 - T_1) - \left[T_o \times (c_p \times \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)) \right]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{agua} = [4.22 \times (348 - 288.64)] - \left[288.64 \times \left[4.22 \times \ln\left(\frac{348}{288.64}\right) \right] \right]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{agua} = 22.69 \frac{KJ}{Kg}$$

La eficiencia del condensador según la segunda ley en el sistema amoniaco- agua es:

$$m_{NH_3} = 273.19 \text{ Kg / hr.}$$

$$\text{Densidad agua} = 1000 \text{ Kg. / m}^3.$$

$$m_{\text{agua}} = 24559.2 \text{ Kg/h.}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{m_c \times (\psi_{\text{sal}} - \psi_{\text{ent}})_c}{m_h \times (\psi_{\text{ent}} - \psi_{\text{sal}})_h}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{273.19 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 194.39 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{24559.2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 22.69 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \eta_{\text{II.Ley}} = 9.53\%$$

Cálculo de la exergía de la corriente de aire

$$c_{p_{\text{aire}}} = 1.005 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{K.}$$

$$(\psi_{\text{ent}} - \psi_{\text{sal}})_{\text{aire}} = c_p \times (T_2 - T_1) - \left[T_0 \times (c_p \times \text{LN} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)) \right]$$

$$(\psi_{\text{ent}} - \psi_{\text{sal}})_{\text{aire}} = \left[1.005 \times (348 - 288.64) \right] - \left[288.64 \times \left[1.005 \times \text{LN} \left(\frac{348}{288.64} \right) \right] \right]$$

$$(\psi_{\text{ent}} - \psi_{\text{sal}})_{\text{aire}} = 5.41 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

La eficiencia del intercambiador según la segunda ley en el sistema agua – aire es:

$$m_{\text{agua}} = 24559.2 \text{ Kg/h.}$$

$$\text{Densidad aire} = 0.023214 \text{ Kg/pies}^3.$$

$$m_{\text{aire}} = 5849.93 \text{ Kg/h.}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{m_c \times (\psi_{\text{sal}} - \psi_{\text{ent}})_c}{m_h \times (\psi_{\text{ent}} - \psi_{\text{sal}})_h}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{5849.93 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 5.41 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{24559.2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 22.69 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \eta_{\text{II.Ley}} = 5.68\%$$

Compresor

Los compresores y las bombas, son dispositivos que consumen energía en forma de trabajo. Bajo condiciones de operación en estado y flujo permanente, el concepto de lo que se consume corresponde al trabajo útil suministrado a dichos dispositivos, mientras que el de lo que se obtiene corresponde al aumento de exergía de la corriente del fluido que pasa a través de la bomba o del compresor.

Despreciando la transferencia de calor y los cambios en energía potencial y en energía cinética, la eficiencia según la segunda ley para una bomba o para un compresor se puede expresar como:

$$\eta_{II,Let} = \frac{\text{lo que se obtiene}}{\text{lo que se paga}}$$

$$\eta_{II,Ley} = \frac{\Psi_{sal} - \Psi_{ent}}{|W_{ent}|} \quad (4-24)$$

Ejemplo de cálculo para el compresor marca Mycom

TABLA 4.6

ILCSA: CONDICIONES DE INGRESO DEL REFRIGERANTE AL COMPRESOR MYCOM						
P succión	T succión	P descg	T descg	T H2O ent.	T H2O sal.	Masa real
kPa	°C	kPa	°C	°C	°C	Kg / hr
262.64	5.67	1540	115.81	15.64	35,00	273.13
FUENTE : INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A						

Bajo estas condiciones se encontró las siguientes propiedades termodinámicas:

$$h_1 = 1780 \text{ KJ / Kg.}$$

$$h_2 = 1490 \text{ KJ / Kg.}$$

$$s_1 = 5.73 \text{ KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$s_2 = 5.6789 \text{ KJ / Kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

Incremento de exergía de la corriente del fluido.

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (h_1 - h_2) - [T_o \times (s_1 - s_2)]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = (1780 - 1490) - [288.64 \times (5.73 - 5.6789)]$$

$$(\psi_{ent} - \psi_{sal})_{NH_3} = 275.25 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

El trabajo consumido por el compresor durante su funcionamiento es igual a.

$$W_{\text{útil}} = m_{NH_3} \times \Delta h \quad (4-25)$$

$$W_{\text{útil}} = 273.13 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times (1780 - 1490) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$W_{\text{útil}} = -79207.7 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \quad \text{El trabajo es negativo, porque es trabajo hecho sobre el sistema}$$

Además existe transferencia de calor, del compresor con el agua, la cual permite enfriar el compresor.

$$T_{\text{entrada H}_2\text{O}} = 15.64 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{salida H}_2\text{O}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces el calor que gana el agua es:

$$\text{Caudal de agua} = 0.1 \text{ GPM} \times \text{TR}$$

$$\text{Caudal agua} = 0.1 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} \times 0.00379 \frac{\text{m}^3}{\text{Gal}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 23.1 = 0.525294 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$Q_{\text{agua}} = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{agua}} = 525.29 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 4.22 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (35 - 15.64)^\circ\text{C} = 42916.1 \frac{\text{KJ}}{\text{hr}}$$

Este calor disminuye la exergía del compresor y disminuye la eficiencia del compresor:

$$T_o = 15.64 \text{ }^\circ\text{C} = 288.64 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$T_{\text{superficie}} = 80 \text{ }^\circ\text{C} = 353 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_o}{T_k} \right) * \dot{Q}_k - \left(\dot{W} - P_o \cdot \frac{dV_{VC}}{dt} \right) + \left[\dot{m}_{\text{NH}_3} * \left(\sum_{\text{ent}} \Psi - \sum_{\text{sal}} \Psi \right) \right] - X_{\text{Destruida}} = \frac{dX_{VC}}{dt} \quad (4-26)$$

Para utilizar la expresión 4-26 (balance de exergía para volúmenes de control), la transferencia de calor desde el sistema y el trabajo hecho sobre el sistema deben considerarse como cantidades negativas. Además, ya que el compresor (Volumen de control) en la práctica opera en forma estable (No experimenta cambios en su contenido de masa) el término dV_{VC}/dt y dX_{VC}/dt son iguales a cero. Entonces, la forma de tasa de balance general de exergía (ecuación 4-26) para un proceso de flujo estable y una sola corriente (una entrada, una salida) se reduce a:

$$\sum \left(1 - \frac{T_o}{T_k} \right) * \dot{Q}_k - \dot{W} + \left[\dot{m}_{\text{NH}_3} * \left(\sum_{\text{ent}} \Psi - \sum_{\text{sal}} \Psi \right) \right] - X_{\text{Destruida}} = 0 \quad (4-27)$$

Si en la expresión anterior (ecuación 4-27), se hace cero la exergía destruida, la ecuación resultante puede usarse para determinar el trabajo reversible. Este caso, el trabajo W se vuelve trabajo reversible:

$$\dot{W}_{\text{REV}} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_k} \right) * \dot{Q}_k + \left[\dot{m}_{\text{NH}_3} * \left(\sum_{\text{ent}} \Psi - \sum_{\text{sal}} \Psi \right) \right] \quad (4-28)$$

El trabajo reversible representa la entrada de trabajo mínimo para dispositivos consumidores de trabajo, como los compresores.

$$\left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) * Q_k = \left(1 - \frac{288.64}{353}\right) \times 42916.1 = -7819.73 \frac{\text{KJ}}{\text{hr}} \rightarrow \text{Transferencia de exergía}$$

debido al calor que gana el agua.

$$\left[\dot{m}_{\text{NH}_3} * \left(\sum_{\text{ent}} \Psi - \sum_{\text{sal}} \Psi\right)\right] = \left(273.13 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 275.25 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}\right) = -75179.03 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{W_{\text{reversible}}}{|W_{\text{ent}}|}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{\left[\dot{m}_{\text{NH}_3} * (\Psi_{\text{sal}} - \Psi_{\text{ent}})\right] + \left[\left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) * Q_k\right]}{W_{\text{entrada}}}$$

$$\eta_{\text{II.Ley}} = \frac{75179.03 + \left(-7819.73 \frac{\text{KJ}}{\text{hr}}\right)}{79207.7 \text{ KJ/hr}} \times 100\% \Rightarrow \eta_{\text{II.Ley}} = 85\%$$

TABLA 4.7.

ILCSA: CAMBIOS DE EXERGÍA Y EFICIENCIA DE LA 2ª LEY DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO			
DISPOSITIVO	CAMBIO DE EXERGÍA [kJ/kg]		EFICIENCIA 2ª LEY [%]
	Evaporador	NH ₃	119.45
H ₂ O		0.6459	
Condensador	NH ₃	194.39	9.53
	H ₂ O	22.69	5.68
Compresor	NH ₃	275.25	85.0

FUENTE: TABLAS 4-4,4-5,4-6

La principal conclusión que se puede emitir acerca de la tabla 4.7, es que, el cambio de exergía ($\Psi_2 - \Psi_1$) representa el trabajo potencial de la corriente de fluido en un ambiente especificado y es la cantidad máxima de trabajo útil que puede obtenerse cuando el sistema llegue al equilibrio con el ambiente. En tanto que la eficiencia de la segunda ley hace referencia al mejor desempeño posible y es una medida del desempeño de un dispositivo con relación a su desempeño en condiciones reversibles para los mismos estados finales. Por ejemplo en el compresor, la exergía del refrigerante aumenta en 275.25 kJ/kg, esto representa el trabajo mínimo que necesita ser suministrado al compresor.

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para el análisis del sistema de energía eléctrica se elaboró los planos eléctricos y de iluminación actuales del: Área de pasteurización, yogurt, enfundado crema-mantequilla y bodega de suministros (anexo A, código DEAAPI) y del área de máquinas (anexo A, código DEACMI). En cuanto tiene que ver a los datos de los equipos consumidores de energía eléctrica, estos se detallan en el anexo B (código RC2).

En este apartado se realiza un análisis del factor de potencia y se evalúa los niveles de iluminación actuales para compararlos con los recomendados, de cada área de trabajo de Industria Lechera Carchi S.A.

4.2.1 ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA MAQUINARÍA E ILUMINACIÓN

El factor de potencia se lo define como el desfase entre la tensión y la intensidad en corriente alterna. La intensidad absorbida por una carga puede ser considerada como compuesta por dos tipos separadores: Magnetizante reactiva y activa. La intensidad activa es la que se convierte en trabajo útil (hacer girar un torno, soldar o bombear agua), la unidad de medida de la potencia producida es el kW, el cual se lo obtiene de los datos nominales del equipo (placas de un motor eléctrico por ejemplo).

La intensidad magnetizante es la que es absorbida en los aparatos de inducción para producir el flujo necesario para su funcionamiento. Sin intensidad magnetizante, la energía no puede circular a través del entrehierro de un motor de inducción. La unidad de medida de la potencia magnetizante es el KVAr.

La intensidad total es la que se puede leer en un amperímetro y generalmente esta compuesta por ambos tipos de intensidad. La unidad de medida de la potencia total o aparente es el kVA.

Entonces, el factor de potencia es el término usado para describir la relación entre la potencia de trabajo (potencia real o activa) y la potencia total (o aparente) consumida. Así pues el triángulo de potencias (figura 4.4), muestra gráficamente la relación entre la potencia real (kW), la potencia reactiva (kVAr) y la potencia total (kVA).

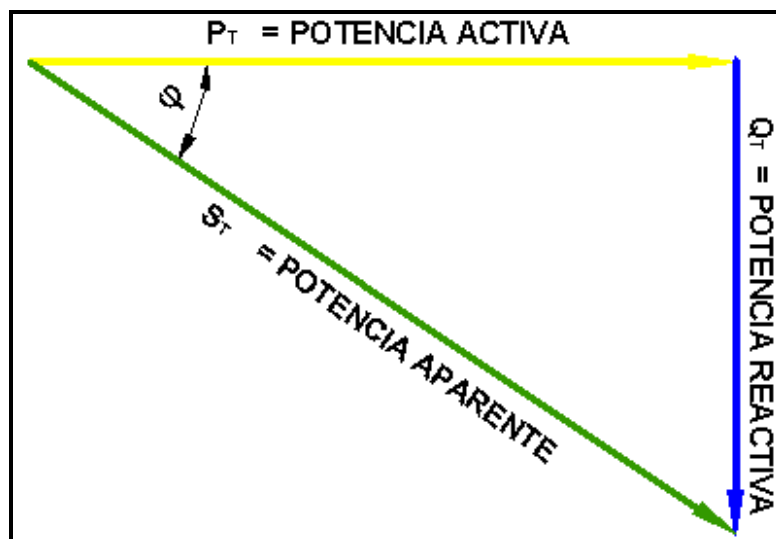


FIG4.4. TRIANGULO DE POTENCIAS

Con la información recopilada en el anexo B (código RC2), se obtiene la potencia real o de trabajo total “ P_T ” (Potencia activa) Y el factor de potencia total “ $\cos \phi_T$ ”. En el anexo D, se presente el cálculo completo para todos los receptores de energía eléctrica en Industria Carchi. A continuación se presenta un ejemplo del cálculo seguido en el anexo D.

Los datos de abajo corresponden a la máquina Prepac, del área de enfundado. En donde, la potencia activa fue tomada de la placa de la máquina, el amperaje y el voltaje fueron medidos con ayuda del personal de mantenimiento. Igual procedimiento se siguió para el resto de receptores de energía eléctrica, los cuales se indican en el anexo B.

Nombre maquina:	Prepac
Área:	Enfundado y empacado de leche y bolos.
Marca:	Prepac
Procedencia:	Francia
Potencia activa:	3500 W (Fuente placa técnica de la máquina).
Amperaje:	14.50 A (Medición realizada con un amperímetro).
Voltaje:	220 V (Medición realizada con un voltímetro).
Fases:	3 (Fuente placa técnica de la máquina).

El factor de potencia para este receptor trifásico se calculará con la siguiente expresión:

$$\cos \phi = \frac{\text{Potencia activa [Watts]}}{\text{Amperaje[A]} * \text{Voltaje[V]} * \sqrt{3}} \quad (4-29)$$

$$\cos \varphi = \frac{3500 \text{ Watts}}{14.50 \text{ A} * 220 \text{ V} * \sqrt{3}}$$

$\cos \varphi = 0.633$ La máquina Prepac tiene un bajo factor de potencia lo cual se debería mejorar.

Si el receptor es una máquina monofásica, del denominador de la expresión 4-29 se elimina la raíz cuadrada y se calcula el factor de potencia respectivo. En el anexo D se indica el factor de potencia de cada uno de los receptores de electricidad de la empresa, en donde para su cálculo se siguió el procedimiento explicado anteriormente. La potencia activa total (P_T) es la suma de las potencias activas individuales de cada equipo y el factor de potencia total ($\cos \varphi_T$) es el valor promedio de todos los factores de potencia que tienen los equipos de Industria Lechera Carchi, cuyos valores son:

$P_T = 217.09 \text{ kW}$ Suma de potencia activas de cada equipo
 $\cos \varphi = 0.72$ Factor de potencia promedio de todos los equipos de ILCSA

La potencia reactiva total y aparente total se las puede obtener a través del triángulo de potencias descrito en la figura 4.4. La expresión para calcular la potencia aparente total será:

$$\cos \varphi = \frac{P_T}{S_T} \Rightarrow S_T = \frac{P_T}{\cos \varphi} \quad (4-30)$$

$$S_T = \frac{217.09 \text{ kW}}{0.72}$$

$S_T = 301.51 \text{ kVA}$ Potencia Aparente Total.

La potencia reactiva total se calcula, despejándola de la expresión siguiente:

$$S_T = \sqrt{[(P_T)^2 + (Q_T)^2]} \Rightarrow Q_T = \sqrt{[(S_T)^2 - (P_T)^2]} \quad (4-31)$$

$$Q_T = \sqrt{[(301.51)^2 - (217.09)^2]}$$

$Q_T = 209.24 \text{ kVAr}$ Potencia Reactiva Total.

Con los valores calculados anteriormente se puede graficar el triángulo de potencias para industria Lechera Carchi, el cual se lo muestra en la figura 4.5.

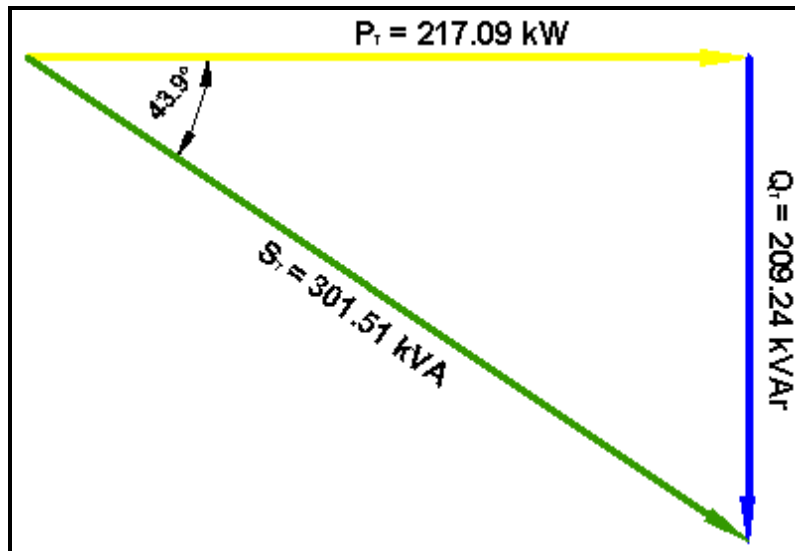


FIG4.5. TRIANGULO DE POTENCIAS DEL SISTEMA TRIFÁSICO DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A

De lo anterior se puede deducir que industria lechera Carchi tiene un bajo factor de potencia (0.72), esto significa que la empresa produce un consumo de 217 kW, pero necesita de un suministro de 302 kVA por la línea para funcionar. En consecuencia, se produce un aumento de corriente por los conductores de la línea que repercute directamente en los costos de energía eléctrica de industria Lechera Carchi S.A.

4.2.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUALES Y RECOMENDADOS

La no adopción de los niveles técnicos de iluminación establecidos en normas puede traer graves consecuencias sobre el personal que labora en la planta, como son, enfermedades profesionales, accidentes, baja productividad, etc.

En este punto se establecerá si el nivel actual de iluminación que tienen las áreas de producción de Industria Carchi se ajustan a las necesidades visuales de la tarea y si ésta se encuentra sobre la exigencia de iluminación recomendados en los puestos de trabajo. La iluminación media de un local puede calcularse por el método de los lúmenes a partir de la siguiente expresión⁶:

$$E = \frac{N * Lm * Cu * LLF}{S} \quad (4-32)$$

Donde:

E → Iluminación media del local en lux.

N → Número de lámparas utilizadas en el local.

⁶ Instituto Nacional de la Energía "INE", Cursos de Conservación de la Energía en la Industria, Quito- Ecuador, Marzo 1989.

Lm → Flujo luminoso lámpara [lúmenes].

Cu → Coeficiente de utilización de las lámparas que es función de:

- RCR → factor de forma del local. Este cálculo con la siguiente expresión:

$$RCR = \frac{5 * Altura * (Longitud + Anchura)}{(Longitud * Anchura)}$$

El factor de forma RCR es un número comprendido entre 1 y 10. Pero, a pesar de que con la fórmula se pueden obtener valores mayores que 10, no se consideran, pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos, es despreciable. Por lo tanto, cuando se obtenga un número mayor a 10, se utilizará el 10, como factor de forma del local.

- ρ_{cc} → Reflectancia del techo. Este coeficiente es función del color, grado de acabado y estado de conservación y limpieza. Para naves industriales toma un valor del 70% para un techo blanco o muy claro, según el INE.

- ρ_w → Reflectancia de paredes. Este coeficiente es función del color, grado de acabado y estado de conservación y limpieza. Para naves industriales toma un valor del 30%, según el INE.

LLF → Factor de pérdida de luz (factor de depreciación). El cual toma un valor de 0.8 para naves industriales.

S → Superficie iluminada.


A continuación se da un ejemplo de cálculo para el área de yogurt de Industria Carchi, y en el anexo D se presenta los resultados para el resto de lugares de trabajo de la empresa.

Área:	Yogurt	
Longitud:	L= 12.18 m	(Fuente plano código PPEAE-ILCSA2)
Ancho:	A= 6.25 m	(Fuente plano código PPEAE-ILCSA2)
Alto:	H= 4 m	(Fuente ILCSA).
Superficie:	S= 12.18x6.25= 76.13 m ² .	
Reflectancia de techo:	ρ_{cc} = 70%	
Reflectancia de paredes:	ρ_w = 30%	
Factor de depreciación:	LLF= 0.8.	
Flujo luminosa lámpara:	Lm= 3200 lúmenes. (Foco de 150 W)	
Número de lámparas:	N=6 lámparas (Fuente plano DIAAPI)	
Factor de forma del local:		

$$RCR = \frac{5 * 4m * (12.18 + 6.25)m}{(12.18 * 6.25)} = 4.84$$

El coeficiente de utilización “Cu” se obtiene ingresando en la tabla de abajo, con los siguientes valores:

$$\left\{ \begin{array}{l} RCR = 4.84 \\ \rho_{cc} = 70\% \\ \rho_w = 30\% \end{array} \right. \Rightarrow Cu = 0.70$$

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (u)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0			
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 10 % 60 %	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
	4.0	.72	.70	.68	.70	.68	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	$D_{max} = 1.0 H_m$ $f_m .70 .75 .80$	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63

Por lo tanto, la iluminación media en [lux] del área de yogurt de Industria Carchi será igual a:

$$E = \frac{6 * 3200 * 0.70 * 0.8}{76.13} \Rightarrow E = 141.23 \text{ [lux]}$$

Del calculo anterior se tiene que la iluminación media del área de yogurt es de 141 lux, este nivel de iluminación se encuentra fuera de las recomendaciones que hace el Ministerio de Industria y Energía de España, el cual expone en su articulo denominado “Alumbrado Industrial” que: “En locales donde sea esencial una distinción moderada de detalles, como en los montajes medios, en trabajos sencillos en bancos de taller, trabajos en máquinas, costura de tejidos claros o de productos de cuero, industrias alimenticias y carpintería metálica; La intensidad mínima de iluminación es de 200 lux”. Por lo tanto el nivel de iluminación del área de yogurt no es el adecuado. En la tabla 4.8 se resumen los niveles de iluminación de las áreas de producción de Industria Carchi y se realiza una comparación con los niveles recomendados.

TABLA 4.8

ILCSA: NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUALES EN LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN			
ÁREA	ILUMINACIÓN MEDIA [lux]	VALOR RECOMENDADO	OBSERVACION
Pasteurización y Tanques leche	131	200	Iluminación deficiente
Prepac-marmitas	154	200	
Batidora manteq.	108	200	
Bodega sumint.	130	50	Iluminación exc.
Yogurt	141	200	Iluminación def.
Despacho	189	100	Iluminación excesiva.
Corredor	294	50	
Cuarto madurac.	33	100	Iluminación def.
Tina queso 1	29	200	Iluminación def.
Tina queso 2	25	200	Iluminación deficiente.
Empacado al vacío	34	200	Iluminación def
Compresor NH ₃	352	100	Iluminación excesiva.
Compresor freón	79	50	
Tablero eléctrico	200	100	
Cuarto calderas	70	100	Iluminación deficiente.
Generador	72	100	
Tanque generador	0	50	
Compresor aire	233	100	Iluminación exc.

FUENTE: ANEXO 3 Y MANUAL SOBRE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

En el siguiente capítulo se analiza la forma de corregir el factor de potencia, la forma de mejorar el sistema de iluminación y se propone un nuevo sistema de distribución de energía y se expone los ahorros económicos de los que puede beneficiarse Industria Lechera Carchi S.A.

4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Se puede pensar de que un sistema de vapor parece pasivo, pero, en realidad es un sistema activo que regula el suministro de vapor, respondiendo a los cambiantes requerimientos de los usos finales en cuanto a flujo, presión y temperatura de vapor, es por esto que el sistema requiere de un mantenimiento efectivo para asegurar el satisfactorio funcionamiento del sistema de vapor en su conjunto. Por lo tanto, la evaluación sistemática desde el punto de vista energético de los procesos de generación y distribución de vapor, constituye un paso importante en el logro de altas eficiencias. En el análisis de estos procesos, el balance de energía es la información fundamental para apreciar correctamente los puntos de ineficiencias

y actuar en consecuencia.

Para el análisis del sistema de generación y distribución de vapor de Industria Lechera Carchi S.A, se realizó el plano actual del sistema (código RDVI, anexo A). En lo que tiene que ver a los datos para el análisis energético estos se detallan en el anexo B (código RC3).

4.3.1 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR

La eficiencia térmica es el indicador más importante de trabajo de un generador de vapor, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de energía que ha sido transferida al agente de trabajo. Para realizar su determinación, se requiere de un conjunto de instrumentos para la medición de:

- La composición volumétrica de los gases de combustión (Analizadores de gases Tipo Orsat). El mecanismo básico de los analizadores de gases se compone de unas botellas que contienen diferentes soluciones químicas para absorber los diferentes gases de combustión. Por ejemplo, el CO_2 , es absorbido por la botella que contiene potasa cáustica.
- La temperatura de los gases de combustión, pared de la caldera, temperatura ambiente (Pirómetro digital, Termómetro infrarrojo).
- La calidad del agua de alimentación, de reposición, agua de caldera y condensado (DS meter)
- La longitud y diámetro de la caldera (Flexómetro).
- La presión a la que se encuentra trabajando la caldera (Manómetro de la caldera).

En la figura 4.6 se indica el equipo necesario para realizar la medición de la composición volumétrica de los gases de composición:



FIG.4.6. EQUIPO NECESARIO PARA EL ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN

Una vez obtenidos todos los equipos anteriormente citados, el procedimiento es el siguiente: Primero, se debe realizar una perforación de ½" a unos 15 cm de la base de la chimenea, esto nos servirá para recoger la muestra de gases en los diferentes instrumentos del equipo analizador de gases, tal como se indica en la figura 4.7, donde se está midiendo el porcentaje de CO y el número de humo. Un vez, que se determinado la composición de los gases (porcentaje de CO₂, CO, O₂, NO_x, SO₂ y número de humo) se procede ha medir la temperatura de los gases de combustión y medio exterior, mediante el empleo de un pirómetro digital.

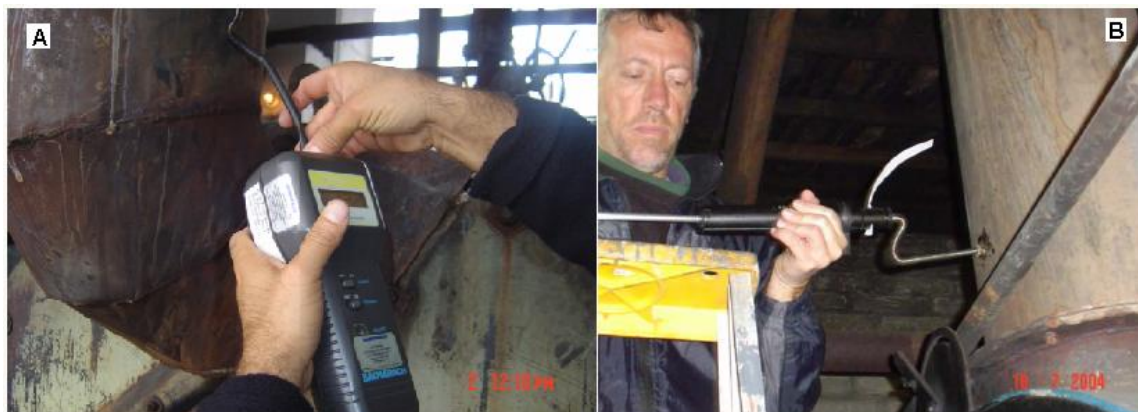


FIG4.7. A) MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE CO Y B) MEDICIÓN DEL NÚMERO DE HUMO

La medición de los sólidos disueltos en el agua de alimentación, agua de reposición, agua de caldera y condensado se los realiza con DS Meter, el cual nos entrega la calidad de cada una de esta agua en ppm. Para esto se recoge muestras de las aguas citadas anteriormente, se dejan que se enfríen y se procede a medir. En la figura 4.8 se indica un DS Meter. La medición de los sólidos disueltos se la debe realizar con cuidado, de los lugares donde se toma la muestra de agua.



FIG4.8. SD METER PARA LA MEDICIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA DE CALDERA, AGUA DE ALIMENTACIÓN, AGUA DE REPOSICIÓN Y CONDENSADO.

Una vez terminado este paso, se procede a la toma de temperaturas en la pared de la caldera, la longitud y diámetro del generador de vapores. Mediante el uso de un termómetro infrarrojo y un flexómetro respectivamente. Para esto, se debe dividir la caldera en porciones equivalentes y tomar la temperatura en cada uno de estas porciones, tal como se muestra en el anexo B (código RC3). Estos datos servirán para calcular las pérdidas de calor por la pared de la caldera.

Por último, la lectura de la presión a la que esta trabajando la caldera, se la obtiene del manómetro instalado en ésta. Todos los datos deben ser recogidos en un formato adecuado, para su posterior procesamiento. Este formato puede ser como el que se muestra en el anexo B (código RC3).

4.3.1.1 Cálculo de la eficiencia de combustión “Ef_{comb}”

Para calcular la eficiencia de combustión de la caldera se necesita la temperatura neta de la chimenea que es donde se tiene la mayor cantidad de perdidas, la temperatura ambiente y el porcentaje de CO₂ que se produce como resultado de la combustión:

$$T_{\text{netachimenea}} = T_{\text{gas}} - T_{\text{amb.}}$$

$$T_{\text{netachimenea}} = 714.2 - 66.2 \text{ [}^\circ\text{F]} \quad \text{Fuente anexo B.}$$

$$T_{\text{netachimenea}} = 648 \text{ [}^\circ\text{F]}.$$

$$\% \text{CO}_2 = 9 \quad \text{Obtenido por el método de Bacharach, anexo B.}$$

Con estos dos valores se ingresa en la regleta de Bacharach del anexo F, así:

% Ef _c	T _{netachimenea} [°F]	
74	600	
x	648	
72.25	650	Ef _{comb} @ 648°F = 72.32%

4.3.1.2 Cálculo de la eficiencia del generador de vapor "η_{CALDERA}"

Existen dos métodos para calcular la eficiencia en una caldera, el “método directo” y el “método indirecto o de pérdidas”, en este apartado se utilizará los dos métodos para determinar la eficiencia del generador de vapor.

En el método directo, la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua en vapor, y la energía suministrada por el

combustible. Se expresa en forma de porcentaje:

$$\eta_{\text{caldera}} = \frac{\text{Calor transmitido al vapor}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} * 100 = \frac{\dot{Q}_{\text{vapor}}}{Q_{\text{combustible}}} * 100 \quad [\%]$$

La energía que aprovecha el calor transmitido al vapor se calcula mediante el uso de las propiedades termodinámicas del agua; para esto se necesita conocer:

- 1 La temperatura del agua de alimentación “ T_{aa} ”
- 2 La presión a la cual se está produciendo el vapor “ P_{vapor} ”
- 3 El flujo de vapor “ m_{vapor} ”

Para calcular el calor que suministra el combustible al agua para convertirse en vapor se necesita conocer:

- 1 El flujo de combustible “ $m_{\text{comb.}}$ ”
- 2 El poder calorífico del combustible “ $PCS_{\text{comb.}}$ ”

Una vez que se ha obtenido todos los datos mencionados anteriormente la eficiente de La caldera se calcula con la siguiente expresión:

$$\eta_{\text{caldera}} = \frac{\dot{Q}_{\text{vapor}}}{Q_{\text{combustible}}} * 100 = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}} * (h_{g@P_{\text{vapor}}} - h_{aa})}{\dot{m}_{\text{comb.}} * PCS_{\text{comb.}}} * 100 \quad [\%] \quad (4-33)$$

En cambio, en el método indirecto o de pérdidas, la eficiencia se calcula restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor; también se expresa como un porcentaje:

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - \sum \text{Pérdidas} \quad [\%] \quad (4-34)$$

Dentro de las pérdidas se consideran:

- Pérdidas de calor sensible en gases de combustión (pérdidas en chimenea).
- Pérdidas por combustible no quemado (pérdidas por inquemados).
- Pérdidas por paredes de la caldera (radiación y convección).
- Pérdidas de calor en purgas.

Por lo tanto la eficiencia de la caldera o generador de vapor se verá afectada por las causas

mencionadas anteriormente, esto se puede visualizar de mejor manera en la figura 4.9, la cual representa un balance de energía en la caldera.

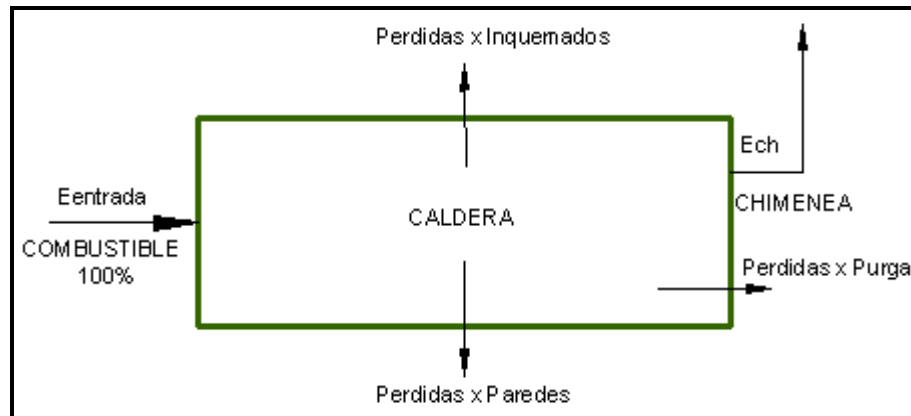


FIG4.9. BALANCE DE ENERGÍA EN LA CALDERA

Además de los problemas que se tienen en el quemador, el hogar y los derivados de la relación aire/combustible para obtener una combustión completa y eficiente, existen otras fuentes de pérdidas de calor y eficiencia. La evaluación de éstas se utiliza para determinar la eficiencia de la caldera en el método indirecto o de pérdidas.

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - \sum \text{Perdidas}$$

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - \text{perdidas en (chimenea + paredes + purga + inquemados)}$$

Pérdidas por chimenea

Ésta es probablemente la fuente de pérdida de calor más importante y, por lo mismo, debe ser reducida al máximo posible. Las pérdidas se producen debido a la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea: a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera. Pero, se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, ya que demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del “punto de rocío”, lo que aumenta la posibilidad de corrosión por la formación de: ácido nítrico (el nitrógeno del aire utilizado para la combustión), ácido sulfúrico (si el combustible contiene azufre) y agua.

$$\%P_{\text{chimenea}} = 100 - Ef_c \quad (4-35)$$

$$\%P_{\text{chimenea}} = 100 - 72.32$$

$$\%P_{\text{chimenea}} = 27.68\%$$

Pérdidas por purga

El objetivo de esta operación es la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la

caldera, ya que al vaporizarse el agua, la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas de incrustación importantes ya que, entre otros efectos negativos, reducen significativamente la tasa de transferencia de calor del combustible al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera. La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se encuentran más concentrados los sólidos disueltos y en suspensión e introduciendo agua de alimentación con una concentración muy baja.

Esta pérdida está asociada a la diferencia de temperatura entre el agua (saturada) extraída de la caldera para mantener la concentración de sustancias perjudiciales dentro del rango recomendado y el agua de alimentación

Para determinar las pérdidas por purga primero se debe determinar la tasa de purga ($\text{kg}_{\text{purga}}/\text{kg}_{\text{vapor}}$), para esto se establece un balance de SDT en la caldera (Figura 4.10). En el anexo B (código RC3) se muestra las características del agua de alimentación, retorno del condensado y agua de la caldera.

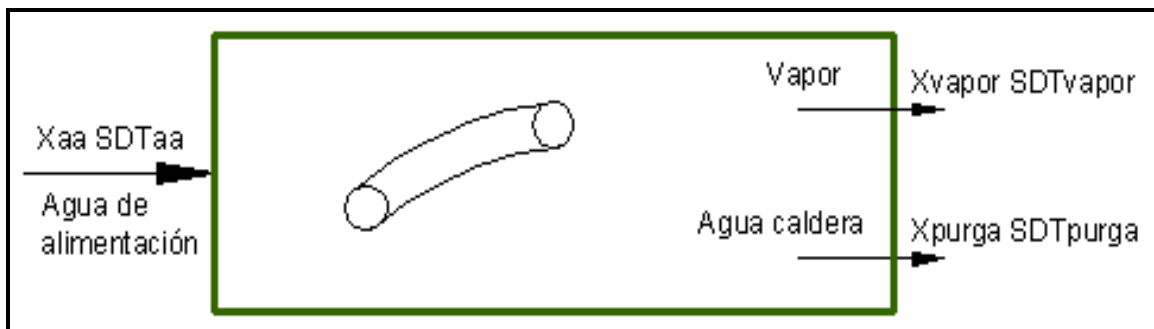


FIG4.10. BALANCE DE SDT EN LA CALDERA

Los SDT del vapor son cero ya que no hay sólidos disueltos en el vapor y los SDT de purga son iguales al SDT de caldera. Realizando el balance de SDT se obtiene la expresión siguiente:

$$\text{SDT}_{\text{INGRESAN}} = \text{SDT}_{\text{SALEN}} \quad (4-36)$$

$$X_{aa} \text{SDT}_{aa} = X_{\text{purga}} \text{SDT}_{\text{caldera}} + X_{\text{vapor}} \text{SDT}_{\text{vapor}} \quad (4-37)$$

$$X_{aa} = X_{\text{vapor}} + X_{\text{purga}} \quad (4-38)$$

Donde:

X_{aa} → Masa de agua de alimentación que ingresa a la caldera.

X_{purga} → Masa de agua que sale debido a la purga.

SDT_{aaa} → Sólidos disueltos totales en el agua de alimentación.

$\text{SDT}_{\text{caldera}}$ → Sólidos disueltos en el agua de caldera (SDT purga).

X_{vapor} → masa de vapor producida por la caldera.

$$\begin{aligned}
(X_{\text{vapor}} + X_{\text{purga}})SDT_{aa} &= X_{\text{purga}} SDT_{\text{caldera}} \\
X_{\text{purga}} (SDT_{aa} - SDT_{\text{caldera}}) &= -X_{\text{vapor}} SDT_{aa} \\
\frac{X_{\text{purga}}}{X_{\text{vapor}}} &= \frac{SDT_{aa}}{SDT_{\text{caldera}} - SDT_{aa}} \\
\frac{X_{\text{purga}}}{X_{\text{vapor}}} &= \frac{100}{2900 - 100} \Rightarrow \frac{X_{\text{purga}}}{X_{\text{vapor}}} = 0.03571 \frac{\text{Kg}_{\text{purga}}}{\text{Kg}_{\text{vapor}}}
\end{aligned}$$

El porcentaje de pérdidas por purga se calcula con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
\%P_{\text{purga}} &= \frac{\text{TasaPurga} * (h_{f@85\text{psig}} - h_{aa}) * \eta_{\text{caldera}}}{(h_{g@85\text{psig}} - h_{aa})} * 100 \\
\%P_{\text{purga}} &= \frac{0.03571 * (693 - 125.74) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \eta_{\text{caldera}}}{(2762 - 125.74) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} * 100
\end{aligned}$$

$$\%P_{\text{purga}} = 0.0768 * \eta_{\text{caldera}}$$

Pérdidas por paredes

Durante el funcionamiento del generador de vapor, la superficie exterior (su envolvente) alcanza temperaturas superiores a la ambiental. Este gradiente de temperatura genera una transferencia de calor al medio exterior que se efectúa por dos mecanismos fundamentales: Convección y radiación, lo que representa una pérdida de calor, en ocasiones significativa, que afecta la eficiencia del generador de vapor. Estas pérdidas por paredes de la caldera, dependen fundamentalmente de las dimensiones de la unidad, de la temperatura de pared de la caldera y aire circundante a ésta. Un aislamiento dañado o en mal estado aumentará considerablemente el potencial de pérdida de calor.

Esta pérdida, expresada en % de la energía de entrada ($Q_{\text{Comb.}}$) es usualmente pequeña en generadores de vapor de media y capacidad alta, pero se convierte en una de las principales pérdidas en calderas de potencia baja. En estas calderas, el porcentaje de pérdida por radiación y convección puede variar desde 1.3% para una caldera de 600 BHP hasta 3.0% para una caldera de 50 BHP.

Para el cálculo de las pérdidas de calor por paredes se procede de la siguiente forma: Se toma datos de temperatura de las paredes exteriores de la caldera. Tal como se muestra en el anexo B (código RC3), la parte de arriba corresponde a la parte lateral izquierda de la caldera y la tapa posterior y la parte de abajo corresponde a la parte lateral derecha y tapa frontal.

El calor que se pierde por paredes en la caldera se da tanto por convección y radiación y se calcula con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pared}} &= U_{\text{total}} * \text{Area} * \Delta T \\
 Q_{\text{pared}} &= (U_{\text{cv}} + U_{\text{r}}) * \text{Area} * (T_{\text{superficie}} - T_{\text{ambiente}})
 \end{aligned}
 \tag{4-39}$$

Donde:

U_{cv} → Coeficiente de transferencia de calor por convección.

U_{r} → Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

El coeficiente de transferencia de calor por convección se calcula con la siguiente expresión:

$$U_{\text{cv}} = \left[\frac{\left(\frac{T_{\text{superficie}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ambiente}}}{100} \right)^4}{(T_{\text{superficie}} - T_{\text{ambiente}})} \right] * 5.67 * \varepsilon
 \tag{4-40}$$

$$U_{\text{cv}} = \left[\frac{\left(\frac{60 + 273.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{19 + 273.15}{100} \right)^4}{(333.15 - 292.15)} \right] * 5.67 * 0.9$$

$$U_{\text{cv}} = 6.27 \text{ [Watts/m}^2 \text{ K]}$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se calcula de la siguiente forma:

$$U_{\text{r}} = \frac{B * (T_{\text{superficie}} - T_{\text{ambiente}})^{0.25}}{(D)^{0.25}}
 \tag{4-41}$$

$$U_{\text{r}} = \frac{1.45 * (333.15 - 292.15)^{0.25}}{(1.35)^{0.25}}$$

$$U_{\text{r}} = 3.40 \text{ [Watts/m}^2 \text{ K]}$$

El coeficiente de transferencia de calor total " U_{total} " es la suma de los dos anteriores:

$$U_{\text{total}} = U_{\text{cv}} + U_{\text{r}}
 \tag{4-42}$$

$$U_{\text{total}} = 6.27 + 3.40$$

$$U_{\text{total}} = 9.67 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Por lo tanto, el calor perdido por la pared (porción #1, anexo B, código RC3) de la caldera es:

$$Q_{\text{pared}} = U_{\text{total}} * \text{Area} * \Delta T$$

$$Q_{\text{pared}} = 9.67 \frac{\text{Watts}}{\text{m}^2 \text{K}} * (0.62 * 6.75) \text{m}^2 * (333.15 - 292.15) \text{K}$$

$$Q_{\text{pared}} = 165.92 \text{ Watts}$$

El cálculo completo de las porciones tomadas en la pared de la caldera se la puede observar en el anexo G, lo cual nos dio un total de:

$$Q_{\text{pared}} = 10.22 \text{ kW}$$

Por lo tanto, el porcentaje de calor perdido por pared se lo encuentra con la siguiente expresión:

$$\%P_{\text{pared}} = \frac{Q_{\text{total pared}}}{m_{\text{comb.}} * PCS_{\text{comb.}}} * 100 \quad (4-43)$$

$$\%P_{\text{pared}} = \frac{10.22 \text{ kW}}{7.86 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 45.87 \frac{\text{kWh}}{\text{gal}}} * 100$$

$$\%P_{\text{pared}} = 2.83 \%$$

En cuanto tiene que ver a las pérdidas por pared, este valor no debe sobrepasar el 3% en calderas de hasta 60 BHP⁷. Como se puede ver el valor calculado esta muy cerca de la condición límite, esto es debido a que en la parte posterior de la caldera (el refractario) pueda que ya esta en mal estado ya que es aquí donde se tuvo una lectura de temperaturas alta (anexo B, código RC3, porción 23 y 24).

Las perdidas por inquemados son pequeñas por lo que en este caso no se consideran. Con estos valores se calcula la eficiencia de la caldera (Método indirecto):

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - \sum \text{Perdidas}$$

⁷ Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - 27.68 - 0.0768 * \eta_{\text{caldera}} - 2.83$$

$$\eta_{\text{caldera}} + 0.0768 * \eta_{\text{caldera}} = 69.49$$

$$1.0768 \eta_{\text{caldera}} = 69.49$$

$$\eta_{\text{caldera}} = 64.53\%$$

Una vez calculada la eficiencia de la caldera, se puede estimar la masa de vapor que produce, ésta se halla con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{\eta_{\text{caldera}} * \dot{m}_{\text{comb.}} * \text{PCS}_{\text{comb.}}}{(h_{g@85\text{psig}} - h_{\text{aa}})} \quad (4-44)$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{0.6453 * 7.86 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 165221.48 \frac{\text{kJ}}{\text{gal}}}{(2762.09 - 125.74) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 317.87 [\text{kg}_{\text{vapor}} / \text{h}]$$

4.3.2 ECUACIONES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

Durante el proceso de la combustión se producen muchas transformaciones y reacciones químicas, dependiendo de la composición del combustible utilizado y de las condiciones en que se realice la combustión. Básicamente, cuando se quema un hidrocarburo, el hidrógeno contenido en éste se combina con el oxígeno del aire para producir agua, el carbón se combinará con el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono y, además, se liberará energía en forma de calor. La mayor parte de los combustibles hidrocarburoados líquidos son una mezcla de numerosos hidrocarburos, cuya composición del combustible en particular depende de la fuente de petróleo crudo, así como de la refinería. Pero, por conveniencia se suele considerar como un solo hidrocarburo. Por ejemplo, la gasolina se trata como cetano C_8H_8 y el diesel como dodecano $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ ⁸.

4.3.2.1 Proceso de combustión real

Un proceso de combustión real se base en que la combustión es incompleta. Un proceso de combustión es incompleto si los productos de combustión contienen algo de combustible o

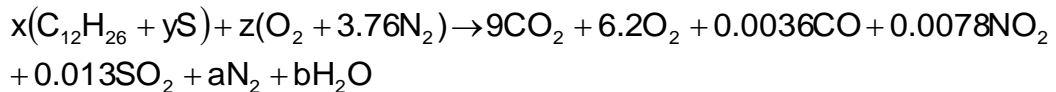
⁸ Termodinámica, Yunus Cengel, Quinta Edición, página 752.

componentes no quemados, como C, H₂, CO o bien OH. El oxígeno insuficiente es una razón obvia para la combustión incompleta, otra causa es la disociación la cual se vuelve importante a temperaturas elevadas. Para analizar el proceso real de combustión es necesario conocer la composición de los gases de combustión, esta composición volumétrica se determina mediante instrumentos específicos, los analizadores de gases. En el presente caso se utiliza los analizadores de gases con soluciones absorbentes tipo Orsat.

En el análisis Orsat se recoge la muestra de gas sobre agua y se mantiene saturada todo el tiempo. Así, la presión de vapor del agua permanece constante durante toda la prueba. Por esta razón se ignora la presencia de vapor de agua en la cámara de la prueba y los datos se registran en una base seca. La composición de los gases de combustión de la caldera de marca York Shipley se muestra en el anexo B (código RC3).

De los datos que se tomó en la caldera se destaca que la temperatura de los gases de combustión (379 °C) no está dentro del rango recomendado, 300 a 600 °F (148.9 °C a 315.6 °C). Las temperaturas de gas menores a 149 °C se deben evitar debido a la posible condensación del vapor de agua y la corrosión en la chimenea o en el equipo. Temperaturas mayores a 316 °C traen consigo reducción en la eficiencia de la caldera, como en este caso.

Se tiene como dato la composición de los productos, pero no se conoce cuanto combustible o aire se usa durante el proceso de combustión. No obstante, estos pueden determinarse a partir de los balances de masa (igualación de ecuación química), así:



Los NO_x contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación, son el monóxido de nitrógeno NO y el dióxido de nitrógeno NO₂, sin embargo en la ecuación anterior solo se ha considerado el NO₂, debido a que el NO tiene una vida corta y sufre una rápida oxidación a NO₂, siendo este el que predomina en la atmósfera.

Los coeficientes desconocidos en la reacción química anterior se los encuentra por medio del balance de masa de los diversos elementos:

$$\text{C: } 12x = 9 + 0.0036$$

$$\text{H}_2: 26x = 2b$$

$$\text{S: } xy = 0.013$$

$$\text{O}_2: 2z = 2(9) + 2(6.2) + 0.0036 + 2(0.0078) + 2(0.013) + b$$

$$\text{N}_2: 2(3.76z) = 0.0078 + 2a$$

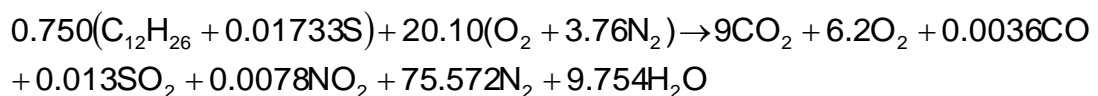
Ordenando estas ecuaciones se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones lineal:

$$\begin{cases} 12x = 9.0036 \\ b - 13x = 0 \\ xy = 0.013 \\ b - 2z = -30.4452 \\ a - 3.76z = -0.0039 \end{cases}$$

Resolviendo el sistema anterior se obtiene la siguiente solución:

$$\begin{cases} x = 0.750 \\ y = 0.01733 \\ z = 20.10 \\ a = 75.571 \\ b = 9.754 \end{cases}$$

Por consiguiente, la ecuación real de combustión con aire seco, balanceada queda de la siguiente manera:



Para determinar la ecuación real de combustión considerando la humedad del aire, se calcula el número de moles de vapor de agua que se encuentran en éste. Para ello, será de utilidad la siguiente información, tomada de Las tablas psicométricas del aire para la ciudad de Tulcán:

Presión absoluta:	$P_0 = 10 \text{ psia (68.89 KPa)}$
Humedad relativa:	$\phi_{\text{aire}} = 45\%$
Temperatura ambiente:	$T_0 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$

La presión parcial de la humedad en el aire es:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \phi_{\text{aire}} * P_{\text{sat}@16^\circ\text{C}} \quad (4-45)$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.45 * 2.2125 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.9956 \text{ kPa}$$

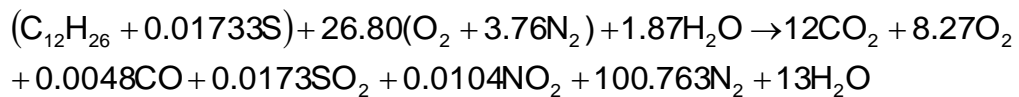
El número de moles de la humedad en el aire ($n_{\text{H}_2\text{O}}$) se calcula así:

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}(\eta_{\text{aireseco}})}{(P_0 - P_{\text{H}_2\text{O}})} \quad (4-46)$$

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.9956(20.10 * 4.76)}{(68.89 - 0.9956)}$$

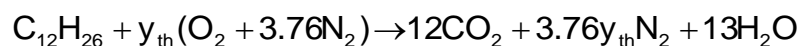
$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = 1.403 \text{ kmol}$$

Entonces, la ecuación balanceada real del proceso de combustión, para 100 Kmol de combustible y tomando en consideración la humedad del aire resulta:



4.3.2.2 Proceso de combustión teórico

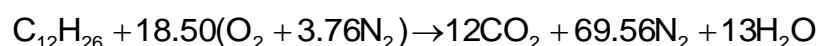
Un proceso de combustión teórico se basa en que la ignición del combustible hace una combustión completa. Un proceso de combustión está completo si todo el carbono en el combustible se transforma en CO_2 , todo el hidrógeno se transforma en H_2O y todo el azufre (si lo hay) en SO_2 . Ahora bien la cantidad mínima de aire necesaria para la combustión completa de un combustible recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico. Este aire teórico se conoce también como cantidad de aire químicamente correcta o aire 100% teórico. Cuando un combustible se quema por completo con aire teórico, no estará presente el oxígeno sin combinar el producto de los gases. Entonces, para encontrar la ecuación estequiométrica (teórica) del proceso de combustión, se considera que los productos en la combustión teórica no contienen combustible no quemado ni C, CO, S y O_2 libre, así:



Se procede al balance de de la ecuación química con base en el principio de la conservación de la masa (balance de masa):

$$\text{O}_2 : \quad 2y_{\text{th}} = 2(12) + 13 \quad \quad \quad y = 18.50$$

La ecuación estequiométrica para el diesel es la siguiente:



4.3.2.3 Porcentaje de aire teórico utilizado por la caldera

Para encontrar el porcentaje de aire utilizado, se necesita conocer la cantidad de aire teórica y la cantidad de aire real de la caldera, así:

$$\% \text{de Aire Teórico} = \frac{m_{\text{aire real}}}{m_{\text{aire teórico}}} \quad (4-47)$$

$$\% \text{de Aire Teórico} = \frac{(26.80 * 4.76) + 1.87 \text{ kmol}}{18.50 * 4.76 \text{ kmol}}$$

$$\% \text{de Aire Teórico} = 1.4698 \quad \Rightarrow \quad \% \text{de Aire} = 146.98\%$$

Este porcentaje de aire teórico significa que existe un 46.98% de exceso de aire durante este proceso de combustión. Normalmente, para el diesel los quemadores se ajustan en el rango de exceso de aire del 20%, debido a las condiciones ambientales variables y a la diferencia de calidad de los combustibles. Este porcentaje de aire excesivo significa tener temperaturas de salida de gases más altas y, por lo consiguiente mayores pérdidas.

4.3.3 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Para el análisis de la red de distribución de vapor fue necesario elaborar el plano de la instalación actual de vapor (código RDVI, anexo A) sobre el cual se estudiará su trazado y las pérdidas en el sistema de distribución. Las pérdidas en sistemas de vapor están normalmente asociadas a las siguientes áreas:

- 1 Pérdidas de vapor (fugas de vapor).
- 2 Pérdidas de calor a través del aislamiento térmico.
- 3 Pérdidas de condensado (trampas de vapor en mal estado).

Estas áreas son fundamentales en la eficiencia energética del sistema de vapor y las oportunidades de ahorro de energía y reducción de costos.

4.3.3.1 Pérdidas de vapor

El costo de generación de vapor es elevado y es evidente que las pérdidas del mismo resultan económicamente significativas. En Industria Carchi, el costo de producir un kilogramo de vapor, tiene un valor de 0.0256 USD, para llegar a estimar este costo se procedió de la siguiente manera:

Se sabe que la caldera produce 317.87 Kg_{vapor}/hora (fuente apartado 4.3.1), si ésta diariamente funciona 11 horas, producirá 3496.55 kg de vapor en el día.

Para producir 317.87 kg_{vapor}/h consume 7,86 galones de diesel por hora, debido a que trabaja

11 horas, su consumo de diesel diario será de 86.46 galones, si el galón de diesel para ILCSA tiene un costo de 1.037 USD, el costo de combustible diario será de 86.46 usd. Por lo tanto el costo de producir vapor se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Costo Vapor} = \frac{\text{Costo Combustible/día}}{\dot{m}_{\text{vapor}}/\text{día}} \quad [\text{usd/kg}_{\text{vapor}}] \quad (4-48)$$

$$\text{Costo Vapor} = \frac{89.66 \text{ USD/día}}{3496.55 \text{ kg}_{\text{vapor}}/\text{día}}$$

$$\text{Costo Vapor} = 0.0256 \quad [\text{usd/kg}_{\text{vapor}}]$$

Las pérdidas de vapor están dadas debido a: fallas en tuberías y fallas en trampas de vapor. En el caso de Industria Carchi se observó que las trampas de vapor se encuentran funcionando normalmente.

Fugas de vapor

De las inspecciones realizadas se pudo notar la presencia de fugas de vapor una en el Mcdonell, otra en la válvula de reducción de la presión del intercambiador de calor del pasteurizador. En este sentido cabe destacar que para desinfectar la planta (áreas de producción), tanques de almacenamiento y equipo en contacto con la leche procesada se utiliza también vapor a alta presión por lo que esto también constituye una pérdida grande para la empresa. De la información dada por el encargado de limpiar los tanques de almacenamiento se conoció que para desinfectar el tanque se deja un chorro de vapor abierto en el interior del mismo en una manguera de 3/4", durante un lapso de 10 minutos. En este sentido se puede reducir este tiempo a la mitad para reducir costos. El flujo de vapor fugado "D_v" se puede calcular con la siguiente expresión⁹:

$$D_{\text{vapor}} = 0.4 d^2 \sqrt{P_{\text{vapor}} (P_{\text{vapor}} + 1)} \quad [\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{h}] \quad (4-49)$$

Donde:

d → Diámetro de la fuga mm

P_{vapor} → Presión de vapor en kgf/cm²; 5.98 kgf/cm² (85 psig)

Suponiendo que la fuga que existe en el Mcdonell debido al empaque en mal estado y válvula de reducción de presión del intercambiador de calor, tiene un diámetro de 1mm, la fuga en este será de:

⁹ Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor, Aníbal Borroto Nordelo, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, la Habana- Cuba, 2002.

$$D_{\text{vapor}} = 0.4(1)^2 \sqrt{5.98(5.98 + 1)}$$

$$D_{\text{vapor}} = 2.584 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{h}]$$

$$D_{\text{vapor}} = 28.427 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{dia}]$$

$$D_{\text{vapor}} = 56.854 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{dia}] \quad \text{Ya que son 2 fugas de vapor.}$$

En el caso de los tanques de almacenamiento, el orificio por donde sale vapor es de $\frac{3}{4}$ " (19.05mm), ya que son dos los tanques que más se utilizan, el flujo de calor fugado será de:

$$D_{\text{vapor}} = 2(0.4(19.05)^2 \sqrt{5.98(5.98 + 1)})$$

$$D_{\text{vapor}} = 1875.68 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{h}]$$

$$D_{\text{vapor}} = 312.61 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{dia}]$$

Sumando todos estos flujos de vapor da un total de 369.44 kg_{vapor}/dia, por lo tanto, la pérdida económica en este sentido haciende a:

$$\text{\$Perdidos x Fugas de Vapor} = \text{Costo vapor} * D_{\text{v total}} \quad (4-50)$$

$$\text{\$Perdidos x Fugas de Vapor} = 0.0256 \frac{\text{usd}}{\text{kg}_{\text{vapor}}} * 369.46 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{dia}}$$

$$\text{\$Perdidos x Fugas de Vapor} = 9.46 \text{ usd/dia}$$

Considerando que la empresa funciona 365 días al año, la pérdida económica total por flujo de vapor fugado haciende a 3453 usd.

4.3.3.2 Análisis del trazado de la línea de vapor

Línea principal

La línea principal es la encargada de llevar el vapor hasta las diferentes líneas de suministro. En el plano RDVI (anexo A) esta corresponde a los puntos 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-26-35 (color rojo). En la tabla 4.9 se indica la tubería empleada en esta parte de la red de vapor, la cual tiene las siguientes características:

TABLA 4.9

ILCSA: CARACTERÍSTICAS LINEA PRINCIPAL RED DE VAPOR								
TRAMO	TUBERÍA			AISLANTE				
	Ø ACTUAL [in]	LONGITUD [m]	MATERIAL	SI	NO	MATERIAL	DIAMETRO ACTUAL	
1-2	2 ½"	0.80	Acero negro		√			
2-3-4-5-6-7-26	2"	27.28	Acero negro	√		Lana de vidrio	4"	
26-35	2"	8.52	Acero negro		√			
3-8-9-10 - 11	2"	20.08		√		Lana de vidrio	4"	
Longitud Total [m]		56.68						
FUENTE: ANEXO 1 (PLANO RDVI)								

La principal conclusión que se puede emitir de la tabla 4.9 es que casi toda la línea principal se encuentra con aislante, aunque en algunas partes este se encuentre en mal estado, provocando de esta manera pérdidas de energía. En lo que tiene que ver con la presencia de purgadores en la línea principal, esta línea no dispone. Se recomienda instalar trampas de vapor en tramos horizontales rectos cada 50 o 100 m para evitar la presencia de obturaciones por acumulación de condensado (lo que causa golpes de ariete y la reducción de la superficie efectiva de intercambio térmico). En la tabla se estimó que la longitud total de la línea principal es de 46.91 metros por lo que se debería colocar un punto de purga en el punto 9, ya que es en este punto donde se tiene un cambio de dirección y un posible acumulación de condensado.

Líneas de suministro

Las tuberías encargadas de distribuir el vapor a los diferentes consumidores se presentan en la tabla 4.10:

TABLA 4.10

ILCSA: CARACTERÍSTICAS DE LINEAS DE SUMINISTRO DE LA RED DE VAPOR					
TRAMO	Ø ACTUAL [in]	LONGITUD [m]	RECEPTOR DE VAPOR	AISLANTE	
				SI	NO
12-13-14-16	2	14.00	-----		√

14-15	3/4"	1.50	Agua caliente		√
16-17-18	3/4"	9.30	Tina queso mozzarella		√
16-19-20-21-22	3/4"	11.36	Marmita ricota		√
19-23-24-25	3/4"	7.48	Tina para queso prensado		√
26-27-28	3/4"	1.90	Marmita manjar		√
27-29-30	3/4"	3.45	Marmita crema	√	
6-31-32-33	3/4"	5.75	Pasteurizador		√
11-34	3/4"	1.65	Agua caliente		√
35-36	3/4"	1.20	Agua caliente		√
35-37-38	1"	4.63	-----		√
38-39-40	3/4"	1.63	Marmita 1		√
38-41-42-43	3/4"	3.84	Marmita 2		√
41-44-45-46	3/4"	6.73	Marmita 3		√
Longitud Total [m]		74.42			
FUENTE: ANEXO 1 (plano RDVI)					

En la tabla anterior se indica claramente que el 95.36% de las líneas de suministro se encuentra sin aislante, provocando de esta manera pérdidas energéticas y económicas en la empresa. Respecto a la existencia de trampas de vapor en las líneas de suministro, estas se encuentran trabajando bien y correctamente ubicadas (A la salida del vapor de la máquina). Con esto se asegura la separación del condensado en la línea de suministro y su posterior retorno al tanque de alimentación de la caldera.

4.3.3.3 Pérdidas de calor a través de aislamiento térmico

Las pérdidas de calor en las líneas de distribución de vapor se producen por conducción, por convección y por radiación. Desde este punto de vista, se aplicaran las ecuaciones y métodos de la transferencia de calor para determinar dichas pérdidas. Sin embargo, es necesario aclarar que muchos de los tramos no están aislados y es, precisamente, en éstos en los que se encontrarán las mayores pérdidas de calor y, por consiguiente las oportunidades de mejora.

Debido a la cantidad de ecuaciones y datos involucrados en la determinación de estas pérdidas, es necesario, dividir las líneas de vapor en tramos (plano RDVI, anexo A) y mediante una hoja de cálculo, presentada en el anexo G, se determina tramo por tramo, la rata de transferencia de calor que se pierde en toda la red de distribución, aplicando el método de la analogía eléctrica¹⁰. A continuación se presenta la aplicación de este método en dos secciones para ejemplificar los cálculos realizados en el anexo G, debido a que las ecuaciones de la convección natural dependen de la posición de la tubería, es decir, si está horizontal, vertical o inclinada.

¹⁰ Incropera. F. P, Fundamentos de Transferencia de Calor, Página 92.

Cálculo de pérdidas de calor en el tramo 2-3 (tubería horizontal con aislante)

Para determinar las pérdidas en el tramo 2-3, figura 4.11, se requieren los siguientes datos:

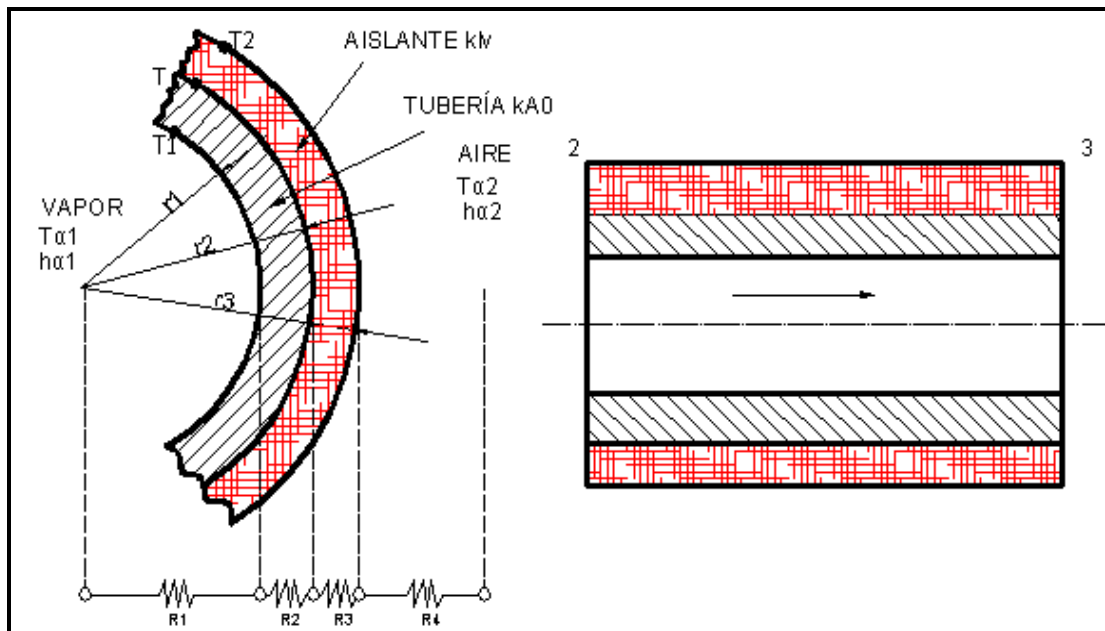


FIG4.11. ANALOGÍA E LÉCTRICA TRAMO HORIZONTAL 2-3

Datos de materiales

$$ka0 := 51.9 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{Conductividad térmica del acero}$$

$$klv := 0.046 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{Conductividad térmica de la lana de vidrio}$$

Datos de temperaturas

$$T\alpha1 := 162.28 + 273.15 \quad T\alpha1 = 435.43 \text{ K} \quad \text{Temp. de vapor}$$

$$T1 := 151.14 + 273.15 \quad T1 = 424.29 \text{ K} \quad \text{Temp. interior de tubería}$$

$$T2 := 33 + 273.15 \quad T2 = 306.15 \text{ K} \quad \text{Temp. superficie aislante}$$

$$T\alpha2 := 19 + 273.15 \quad T\alpha2 = 292.15 \text{ K} \quad \text{Temp. ambiente}$$

Diámetros de tubería

$$D1 := 0.0463 \text{ m} \quad r1 := \frac{D1}{2} \quad \text{Diámetro interno tubería}$$

$$D2 := 0.0603 \text{ m} \quad r2 := \frac{D2}{2} \quad \text{Diámetro externo tubería}$$

$$D3 := 0.1016 \text{ m} \quad r3 := \frac{D3}{2} \quad \text{Diámetro tubería con aislante}$$

$$L23 := 13.73 \text{ m} \quad \text{Longitud tramo 2-3, fuente palno RDVI}$$

$$g := 9.7799 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Aceleración de la gravedad en la línea ecuatorial}$$

$$Tm_{123} := \frac{T\alpha1 + T1}{2} \quad Tm_{123} = 429.86 \text{ K}$$

Cálculo resistencia R1 de convección, siendo el caloportador el vapor:

Con el valor de Tm_{123} se obtienen las propiedades del vapor de agua en la tabla correspondiente (anexo 7):

Las propiedades del vapor a $Tm_{123} = 429.86 \text{ K}$ son:

$$k\alpha1 := 28.38 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad térmica del Vapor}$$

$$\nu\alpha1 := 28.37 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinemática del vapor}$$

$$Pr\alpha1 := 1.022 \quad \text{Numero de Prandt (adimensional)}$$

$$Cp\alpha1 := 1.992 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del vapor}$$

$$\beta\alpha1 := \frac{1}{Tm_{123}} \frac{1}{\text{K}} \quad \beta\alpha1 = 2.326 \times 10^{-3} \quad \text{Coeficiente de expansión vol.}$$

El número de Grashof juega el mismo papel en la convección libre que el número de Reynolds

en la convección forzada, es decir, indica la razón de las fuerzas de empuje a las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido¹¹. Para tuberías horizontales se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Grh1} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_1) \cdot D_1^3}{(\nu_{\alpha 1})^2}$$

$$\text{Grh1} = 3.125 \times 10^4 \quad (\text{adimensional})$$

El número de Nusselt "Nufh" es el gradiente de temperatura adimensional en la superficie de la tubería¹². Para tuberías horizontales se calcula mediante la expresión:

$$\text{Nufh1} := \left[0.60 + \frac{0.387 \cdot (\text{Grh1} \cdot \text{Pr}_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{\text{Pr}_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (4-51)$$

$$\text{Nufh1} = 6.046 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de calor por convección hcv1 queda:

$$\text{hcv}_1 := \frac{k_{\alpha 1}}{D_1} \cdot \text{Nufh}'$$

$$\text{hcv}_1 = 3.706 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

La resistencia R1 se la calcula con la siguiente expresión:

$$R_{123} := \frac{1}{\text{hcv}_1 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_{23}}$$

$$R_{123} = 0.135 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

¹¹ Incropera F. P, Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Páginas 308-319.

¹² Incropera F. P, Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Páginas 308-319.

Cálculo de la resistencia R₂₂₃ de conducción:

$$R_{223} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_{a0} \cdot L_{23}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

$$R_{223} = 5.901 \times 10^{-5} \quad \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Cálculo de la resistencia R₃₂₃ de conducción:

$$R_{323} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_{lv} \cdot L_{23}} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)$$

$$R_{323} = 0.131 \quad \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Cálculo de la resistencia R₄₂₃ de convección, siendo el caloportador el aire:

En este punto se aplica las mismas ecuaciones que se utilizaron para calcular la resistencia uno, con la diferencia de que el medio es el aire.

$$T_{m223} := \frac{T_2 + T_{\alpha 2}}{2}$$

$$T_{m223} = 299.15 \text{ K}$$

Las propiedades del aire a T_{m223} son:

$$k_{\alpha 2} := 26.3 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad térmica del vapor}$$

$$\nu_{\alpha 2} := 15.89 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinemática del vapor}$$

$$Pr_{\alpha 2} := 0.707 \quad \text{Número de Prandtl}$$

$$C_{p\alpha 2} := 1.007 \quad \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del vapor}$$

$$\beta_{\alpha 2} := \frac{1}{T_{m223}} \quad \frac{1}{\text{K}} \quad \beta_{\alpha 2} = 3.343 \times 10^{-3}$$

El número de Grashof para tuberías horizontales se calcula con la siguiente Expresión:

$$\text{Grh2} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 2} \cdot (T_2 - T_{\alpha 2}) \cdot D_1^3}{\nu_{\alpha 2}^2}$$

$$\text{Grh2} = 1.799 \times 10^5 \quad (\text{adimensional})$$

El número de Nusselt Nufh para tuberías horizontales se calcula mediante la expresión:

$$\text{Nufh2} := \left[0.60 + \frac{0.387 \cdot (\text{Grh2} \cdot \text{Pr}_{\alpha 2})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{\text{Pr}_{\alpha 2}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$\text{Nufh2} = 8.281 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de calor por convección hcv2 queda:

$$h_{cv2} := \frac{k_{\alpha 2}}{D_3} \cdot \text{Nufh2}$$

$$h_{cv2} = 2.144 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

La resistencia R4₂₃ se la calcula con la siguiente expresión:

$$R_{423} := \frac{1}{h_{cv2} \cdot \pi \cdot D_3 \cdot L_{23}}$$

$$R_{423} = 0.106 \quad \frac{K}{W}$$

La pérdida de calor por convección y radiación Q_{c23} será:

$$Q_{c23} := \frac{(T_{\alpha 1} - T_{\alpha 2})}{(R_{123} + R_{223} + R_{323} + R_{423})}$$

$$Q_{c23} = 384.029 \text{ Watts}$$

Para encontrar la pérdida de calor por radiación, Q_r , se necesita los siguientes datos:

$$\epsilon_{lv} := 0.26 \quad \text{Emisividad del aislante}$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \quad \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \quad \text{Constante de Steffan Boltzman}$$

$$Q_{r23} := \epsilon_{lv} \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot D_3 \cdot L_{23}) \cdot [(T_2)^4 - (T_{\alpha 2})^4]$$

$$Q_{r23} = 96.909 \text{ Watts}$$

Finalmente la pérdida de calor total en este tramo de línea principal de la red de vapor de ILCSA será:

$$Q_{t23} := Q_{c23} + Q_{r23}$$

$$Q_{t23} = 480.938 \text{ Watts}$$

Cálculo de pérdidas de calor en el tramo 4-5 (tubería vertical con aislante)

Para determinar las pérdidas en el tramo 4-5 (figura 4.12), se requieren los siguientes datos:

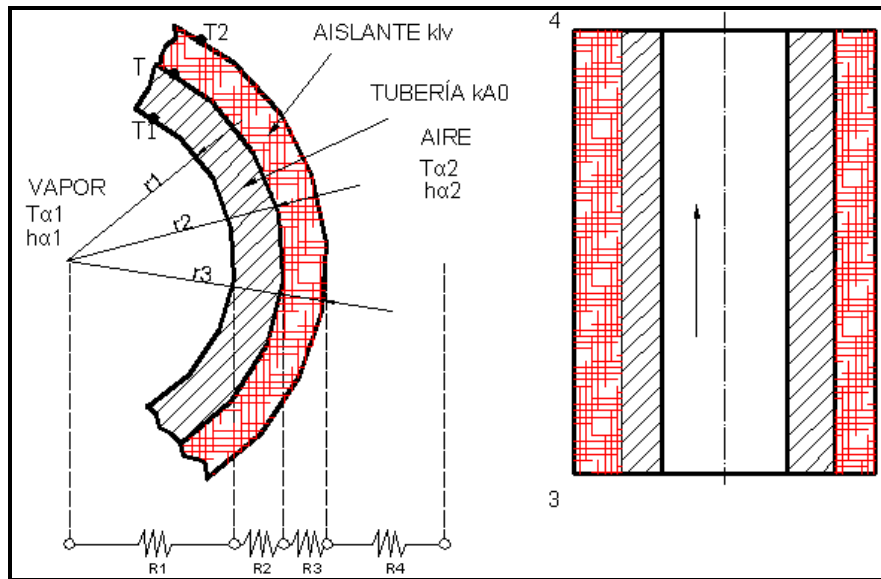


FIG4.12. ANALOGÍA ELÉCTRICA TRAMO VERTICAL 4-5

$L45 := 4.40 \text{ m}$

Longitud tramo 2-3, fuente plano RDVI

La pérdida de calor se la calcula en forma similar a la del tramo 2-3, con la única variación de que se debe aplicar las formulas para una tubería vertical, por lo que las ecuaciones de la convección natural varían así:

Cálculo resistencia R1 de convección, siendo el caloportador el vapor:

Para tuberías verticales, el número de Grashof ($Grv1$) y Nusselt ($Nufv1$), necesarios para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección natural, h_{cv} , se los encuentra mediante las siguientes expresiones¹³:

$$Grv1 := \frac{g \cdot \beta \alpha 1 \cdot (T\alpha 1 - T1) \cdot L45^3}{\nu \alpha 1^2}$$

$$Grv1 = 2.682 \times 10^{10} \quad (\text{adimensional})$$

El número de Grashof juega el mismo papel en la convección libre que el número de Reynolds en la convección forzada, es decir, indica la razón de las fuerzas de empuje a las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido.

El número de Nusselt ($Nufv1$) es el gradiente de temperatura adimensional en la superficie de

¹³ Holman J. P, Transferencia de calor, Páginas 308-319

la tubería. Para tuberías verticales se calcula mediante la expresión:

$$Nufv1 := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Grv1 \cdot Pr\alpha1)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr\alpha1} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (4-52)$$

$$Nufv1 = 364.938 \quad (\text{adimencional})$$

El coeficiente de calor por convección hcv1 queda:

$$hcv1 := \frac{k\alpha1}{L45} \cdot Nufv1$$

$$hcv1 = 2.354 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

La resistencia R1 se la calcula con la siguiente expresión:

$$R1_{45} := \frac{1}{hcv1 \cdot \pi \cdot D1 \cdot L45}$$

$$R1_{45} = 0.664 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R245 de conducción

$$R2_{45} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot ka0 \cdot L45} \cdot \ln\left(\frac{r2}{r1}\right)$$

$$R2_{45} = 1.841 \times 10^{-4} \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R345 de conducción

$$R3_{45} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot klv \cdot L45} \cdot \ln\left(\frac{r3}{r2}\right)$$

$$R_{345} = 0.41 \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia R₄₂₃ de convección, siendo el caloportador el aire:

El número de Grashof para tuberías verticales se calcula con la siguiente expresión:

$$Gr_{v2} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 2} \cdot (T_2 - T_{\alpha 2}) \cdot L_{45}^3}{\nu_{\alpha 2}^2}$$

$$Gr_{v2} = 1.544 \times 10^{11} \quad (\text{adimensional})$$

El número de Nusselt "Nufh" para tuberías horizontales se calcula mediante la expresión:

$$Nuf_{v2} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{v2} \cdot Pr_{\alpha 2})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr_{\alpha 2}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nuf_{v2} = 540.374 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de calor por convección h_{cv2} queda:

$$h_{cv2} := \frac{k_{\alpha 2}}{L_{45}} \cdot Nuf_{v2}$$

$$h_{cv2} = 3.23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

La resistencia R₄₄₅ se la calcula con la siguiente expresión:

$$R_{445} := \frac{1}{h_{cv2} \cdot \pi \cdot D_3 \cdot L_{45}}$$

$$R_{445} = 0.22 \frac{K}{W}$$

La pérdida de calor por convección y conducción Q_{c45} será:

$$Q_{c45} := \frac{T_{\alpha 1} - T_{\alpha 2}}{R_{145} + R_{245} + R_{345} + R_{445}}$$

$$Q_{c45} = 110.669 \quad \text{Watts}$$

Para encontrar la pérdida de calor por radiación, Q_r , se necesita los siguientes datos:

$$\varepsilon_{lv} := 0.26$$

Emisividad del aislante

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Constante de Steffan Boltzman

$$Q_{r45} := \varepsilon_{lv} \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot D_3 \cdot L_{45}) \cdot (T_2^4 - T_{\alpha 2}^4)$$

$$Q_{r45} = 31.056 \quad \text{Watts}$$

Finalmente la pérdida de calor total en este tramo de línea principal de la red de vapor de ILCSA será:

$$Q_{t45} := Q_{c45} + Q_{r45}$$

$$Q_{t45} = 141.725 \quad \text{Watts}$$

En el anexo G, se presentan los datos y cálculos de pérdidas caloríficas de toda la red de distribución de vapor, cuyo valor es de:

$$Q_{\text{Perdido por pared}} = 11.76 \text{ kW}$$

Para determinar que porcentaje representa este calor, con respecto al calor transmitido al vapor, se emplea la siguiente expresión:

$$\% \text{Perdidas En red de vapor} = \frac{Q_{\text{Perdido por aislamiento}}}{\dot{m}_{\text{vapor}} (h_{g@85\text{psig}} - h_{aa})} * 100 \quad (4-53)$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = \left(\frac{11.76 \text{ kW}}{339.25 [\text{kg/h}] (2595.94 - 125.74) [\text{kJ/kg}]} \right) * 100$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = \left(1.403 \times 10^{-5} \frac{\text{kWh}}{\text{kJ}} * \frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \right) * 100$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = 5.05\%$$

Las pérdidas en un sistema de distribución de vapor no deben ser mayores al 5%. Por lo tanto la red de vapor de Industria Carchi se en el tope máximo del valor admisible recomendado. Esto se debe básicamente a que el 95% de la línea de suministro no tiene aislante. Una recomendación en este sentido es aislar en su totalidad las líneas de vapor secundarias. Esto traería además de la disminución de perdidas por efectos térmicos un aumento en la calidad del vapor y el ahorro económico para la empresa por estar trabajando dentro de parámetros recomendados.

4.3.4 DIAGRAMA DE ENERGÍA Y EXERGIA EN LA CALDERA

El diagrama de energía de la caldera se lo representa en la figura 4.13, este diagrama indica que porcentaje de la energía que entrega el combustible es aprovechada transmitiéndole al vapor. Ahora bien, se tiene que del 100% de energía que entrega el diesel a la caldera (360.73 kW), el 64.54% es transmitido al agua para convertirse en vapor (232.4 kW), un 27.68% se pierde en los gases de chimenea (99.85 kW), un 4.95% se pierde en purga (17.86 kW) y un 2.83% se pierde por las paredes de la caldera (10.22 kW). Por lo tanto el diagrama de energía para la caldera York Shipley de Industria Lechera Carchi queda de la siguiente forma:

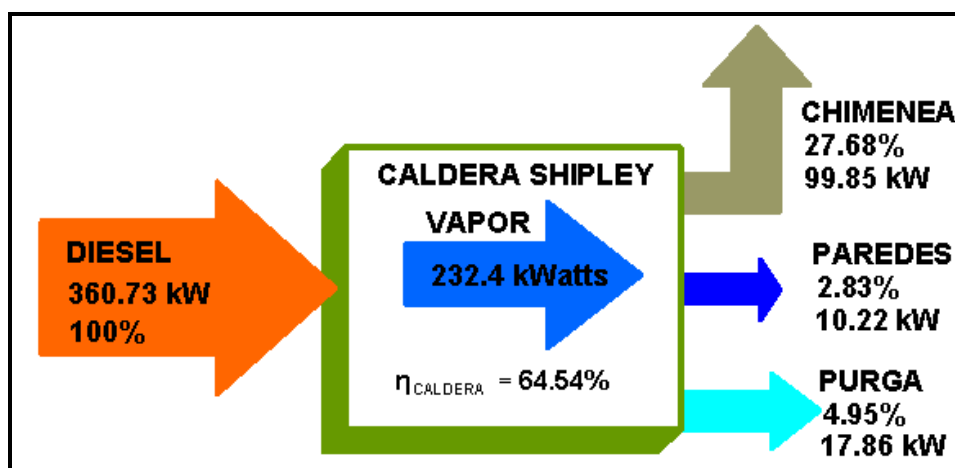


FIG4.13. DIAGRAMA DE ENERGÍA DE CALDERA YORK SHIPLEY

Para realizar el diagrama de exergía (figura 4.14) es necesario determinar el trabajo máximo que puede obtenerse del combustible y la disponibilidad después del proceso de combustión, la

cual será la exergía del vapor a la salida de la caldera. Para procesos reactivos (implican una reacción química), la determinación de estos parámetros es diferente a lo que se realiza en procesos no reactivos (composición química permanece invariable durante el proceso). Debido a que los aspectos de la segunda ley de la termodinámica asociados a las reacciones químicas son complejos, en el anexo H, se presentan y explican estos cálculos. Los resultados obtenidos quedan:

$$W_{\max} = 74739.08 \text{ kJ/kmol} = 60.32 \text{ kW}$$

Esto significa que cuando se quema un kmol de Diesel el máximo trabajo que se puede realizar es de 74739.08 kJ.

De igual forma, en el anexo H se presenta el cálculo de la disponibilidad o exergía del vapor a la salida de la caldera, cuya cantidad es:

$$\Psi_{\text{vapor}} = 6171 \text{ kJ/kmol} = 50.80 \text{ kW}$$

La diferencia entre el trabajo máximo y la exergía del vapor, representa la irreversibilidad del proceso, por consiguiente su valor será:

$$I = W_{\max} - \Psi_{\text{vapor}} \quad (4-54)$$

$$I = 60.32 - 50.80 \text{ kW}$$

$$I = 9.52 \text{ kW}$$

De la expresión anterior se puede observar que de la cantidad máxima de trabajo que proporciona el combustible, 60.32 kW, el 16% de este potencial (9.52 kW) se pierde como resultado de las irreversibilidades. Esto indica además, que el potencial de trabajo del vapor es 84% del potencial de trabajo del combustible. De lo anterior se puede concluir que el proceso de producción de vapor es de aceptable calidad termodinámica, ya que esta se realiza a partir de un proceso de combustión, cuya irreversibilidad es baja.

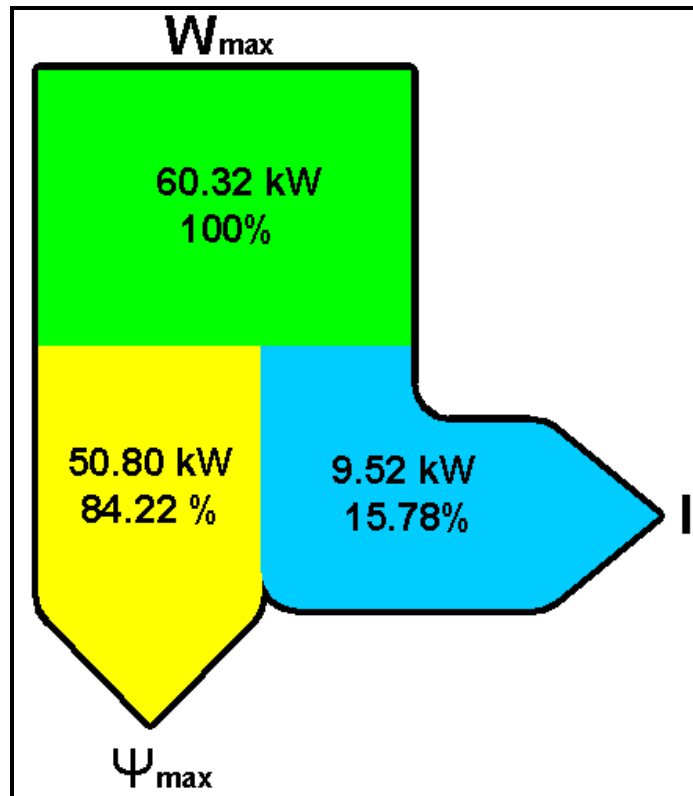


FIG4.14. DIAGRAMA DE EXERGÍA DE LA CALDERA YORK SHIPLEY

4.3.5 CÁLCULO TASA DE RETORNO DEL CONDENSADO

Para averiguar la tasa de retorno del condensado se realizó un balance de SDT en el tanque de alimentación de la caldera, esto se aprecia en la figura 4.15:

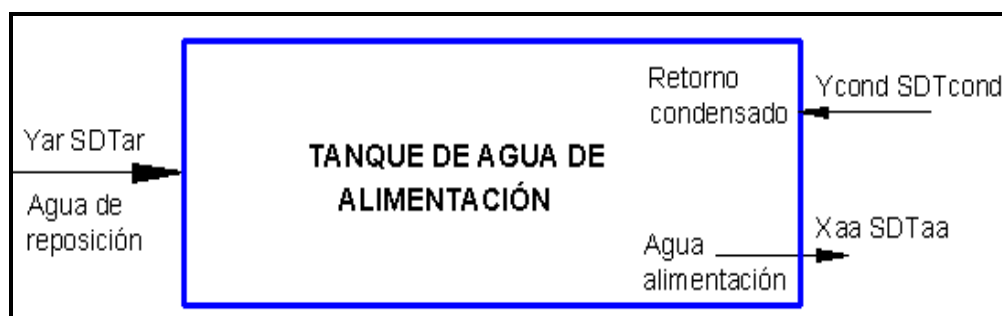


FIG4.15. BALANCE DE SDT EN EL TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA

$$X_{aa} \text{SDT}_{aa} = Y_{ar} \text{SDT}_{ar} + Y_{cond} \text{SDT}_{cond} \quad (4-55)$$

$$Y_{ar} = X_{aa} - Y_{cond} \quad (4-56)$$

Donde:

Y_{cond} → Masa de condensado que retorna al tanque de alimentación de la caldera.

X_{aa} → Masa de agua de alimentación que ingresa a la caldera.

Y_{ar} → Masa de agua de reposición (agua nueva) que ingresa al tanque de alimentación de la caldera.

SDT_{cond} → Sólidos disueltos en el condensado.

SDT_{aa} → Sólidos disueltos en el agua de alimentación.

SDT_{ar} → Sólidos disueltos en el agua de reposición.

$$\begin{aligned}
 X_{aa} SDT_{aa} &= Y_{ar} SDT_{ar} + Y_{cond} SDT_{cond} \\
 X_{aa} SDT_{aa} &= (X_{aa} - Y_{cond}) SDT_{ar} + Y_{cond} SDT_{cond} \\
 X_{aa} SDT_{aa} - X_{aa} SDT_{ar} &= Y_{cond} SDT_{cond} - Y_{cond} SDT_{ar} \\
 X_{aa} (SDT_{aa} - SDT_{ar}) &= Y_{cond} (SDT_{cond} - SDT_{ar}) \\
 \frac{Y_{cond}}{X_{aa}} &= \frac{(SDT_{aa} - SDT_{ar})}{(SDT_{cond} - SDT_{ar})} \\
 \frac{Y_{cond}}{X_{aa}} &= \frac{100 - 140}{0 - 140} * 100 \quad \Rightarrow \quad \frac{Y_{cond}}{X_{aa}} = 28.57\%
 \end{aligned}$$

El tener un 28.57 como tasa de recuperación del condensado implica tener una temperatura del agua de alimentación baja. Una recomendación en este sentido sería aumentar esta tasa con el único objetivo de tener agua de alimentación a una temperatura más alta.

4.4 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

4.4.1 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS DE AIRE COMPRIMIDO

Para el análisis del sistema de aire comprimido se realizó un plano actual del sistema (código RDACI, anexo A) en lo que tiene que ver a los datos de operación del sistema se detallan en el anexo B, código RC4.

Los sistemas de aire comprimido involucran grandes pérdidas de energía de fricción, pérdidas menores y pérdidas de presión entre el compresor y el punto de consumo. La "caída de presión" es un término utilizado para caracterizar la reducción en la presión del aire desde la descarga del compresor hasta el punto de uso. Esta ocurre, cuando el aire comprimido viaja, primero, a través del equipo de acondicionamiento (secadores, filtros, etc.) y, segundo, cuando lo hace a través de todo el sistema de distribución.

Energéticamente hablando, el aire comprimido resulta el servicio más caro en una planta y dado que es limpio, que está disponible rápidamente y es simple de usar, a menudo es utilizado en aplicaciones inapropiadas y no se le da ningún tipo de mantenimiento.

Un error que se está cometiendo en Lechera Carchi, es dejar la succión del aire del compresor dentro del cuarto de máquinas, sin tomar en cuenta que éstas generan calor, el cual provoca que la temperatura del aire de succión sea alta, dando como resultado menor eficiencia del compresor y, por lo tanto, un consumo alto de potencia del mismo.

De los datos tomados en el cuarto de compresores se pudo constatar que la temperatura promedio de este lugar es de 25.67 °C (anexo B, código RC4).

Esto provoca un aumento en la energía consumida por el compresor, ya que según la CONAE, un incremento de 10 °C en la temperatura del aire de succión provoca un aumento del 3.3 % en el consumo de energía del compresor para la misma cantidad de aire comprimido.

Si se considera que Tulcán tiene una temperatura ambiente promedio de 15°C, el aire de succión estaría con un exceso de temperatura de 11°C. Esto estaría provocando un aumento en la energía del 3.3%. En el capítulo 3 se estimó que el costo al año en aire comprimido era de \$ 3639, pero, debido a que la toma de aire se encuentra mas ubicada este valor podría llegar a \$ 3759. Si se reubica la toma de aire de succión del compresor, el dinero ahorrado, podría usarse para realizar mantenimientos preventivos de la red de aire comprimido de la empresa.

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. En Industria Carchi, del lado del suministro, se tiene el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, manómetro, tanque de almacenamiento.

En lo que tiene que ver a los equipos de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, no los tiene. Por lo que, las partículas y humedad que entra con el aire podrían estar causando oxidación e incrustaciones en toda la red.

Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc. De lo que se pudo observar todos estos accesorios se encuentran ubicados en los puntos de consumo y trabajando normalmente.

Para el método de cálculo. Primero se realizó un plano actual de la red de distribución aire (anexo A, código RDACI), nombrando los tramos de la red de distribución, con un número en cada punto de consumo y en cada nudo, quedando cada tramo definido por estos números. Se recolecto todos los datos disponibles del compresor, motor del compresor, diámetros y material de la tubería y accesorios.

Las características de la línea actual de distribución del aire se indican en la tabla 4.11.

TABLA 4.11

ILCSA: CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE				
TIPO DE LINEA	TRAMO	PUNTO DE CONSUMO	DIAMETRO ACTUAL [in]	LONGITUD [m]
Principal	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13	-----	1	30.93
	27-28-29-30-31	-----	½	19.52
Suministro	13-14-15-16	Thimonnier	½	1.90
	17-18-19-20-21-22	Prepac 1	½	4.42
	23-24-25-26	Prepac 2	½	9.10
	32-33-34-35-36	Prensa para quesos	3/8	23.22
	37-38-39-40	Máquina para queso mozzarella	¼	10.55
	41-42-43-44-45	Envasadora de yogurt	¾	9.75
Longitud Total				109.39 m
FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A				

4.4.2 COMPROBACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

En Industria Lechera Carchi, el aire comprimido se utiliza como un sistema de alimentación de fluido para proveer de potencia necesaria al equipo de producción, a dispositivos para el manejo de material y a máquinas de automatización.

El compresor de la planta opera en un rango de 60 @ 120 psig. En este sentido se debe prestar atención a las pérdidas de presión entre el compresor y el punto de utilización del aire.

Entonces, para estudiar el dimensionamiento de la red, se determina la mayor caída de presión en la instalación y se compara con los valores admisibles. Para tal efecto, se considera el tramo que une la salida de compresor con el punto mas alejado de consumo y en base a esto se diseña la tubería principal y las de servicio de toda la red.

El tramo de mayor longitud comprende, toda la línea principal (tramo 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13) y la máquina thimonnier 2 (tramo 13-14-15-16), tal como se muestra en el plano RDAI (anexo B). Entonces, para el cálculo se necesitan los siguientes datos: Caudal de salida de aire, diámetro de la tubería, presión de entrada del aire, número de accesorios y la longitud de la tubería, tal como se detalla a continuación:

Tramo de línea principal:	12-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13
Caudal de aire en el compresor (\dot{m}):	51 cfm=24.1 L/s.
Diámetro interno de tubería (línea principal):	1"(25.4mm)
Presión manométrica a la salida del compresor:	6 bar (anexo B)
Longitudes de tuberías equivalentes:	
10 codos de 90° de 1"	10x1.5= 15m

4 T de 1"	4x0.3= 1.2m
1 T de ¾"	1x0.2= 0.2m
3 Válvulas de compuerta	3x0.3= 0.9m
Longitud real de la línea:	30.93m
Longitud equivalente de tubería total:	48.23m.

Con los datos anteriores se ingresa en el diagrama para aire (anexo I) y se establece la caída de presión en la línea.

$$\Delta P_{\text{LINEAPRINCIPAL}} = 0.10 \text{ bar}$$

$$\% \Delta P_{\text{LINEAPRINCIPAL}} = \frac{0.100}{6} * 100 = 1.67\% \quad (4-57)$$

El valor calculado anteriormente es cercano al valor admisible dado por el Instituto Nacional de Energía (INE). En general, se admite una pérdida del 2% de la presión suministrada por el compresor al punto de utilización más lejano. Entonces, la presión de servicio se calcula según la expresión siguiente:

$$P_s = 6 - 0.10 = 5.9 \text{ bar manométricos}$$

Para calcular el valor total de la caída de presión, debe calcularse la caída de presión en la línea de suministro. Procediendo de igual forma que en el apartado anterior, este valor es:

Tramo de línea suministro:	13-14-15-16
Caudal de aire en el compresor (\dot{m}):	51 cfm=24.1 L/s.
Diámetro interno de tubería (línea suministro):	½"(12.7mm)
Presión manométrica a la salida del compresor:	5.9 bar (anexo B)
Longitudes de tuberías equivalentes:	
3 codos de 90° de ½"	3x1.0= 3.0m
1 Reducción de 1" a ½"	1x0.2= 0.2m
Longitud real de la línea:	1.90m
Longitud equivalente de tubería total:	5.10 m.

Igual que el caso anterior con los datos de la tabla se ingresa en el diagrama para aire (anexo I) y se obtiene la siguiente caída de presión en la línea de suministro:

$$\Delta P_{\text{LINEASUMNISTRO}} = 0.2 \text{ bar}$$

Para obtener el resultado total de la caída de presión, se suma tanto la caída en la línea principal como la caída de presión en la línea de suministro:

$$\Delta P_{\text{TRAMOMAS ALEJADO}} = 0.10 + 0.2 \text{ bar} = 0.3 \text{ bar}$$

$$\% \Delta P_{\text{LINEA PRINCIPAL}} = \frac{0.3}{6} * 100 = 5\%$$

La caída de presión en todo el tramo es superior al valor admisible del 2%, pero, la mayor caída de presión se da en la línea de suministro, por lo que se debería redimensionar y cambiar esta tubería con una de mayor diámetro, pero esto significa un costo.

4.4.3 ANALISIS DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO

Un problema típico industrial, del que pocos están exentos, son las fugas en el sistema de aire comprimido, con la consecuente caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son:

- Un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan este servicio, lo que causa una menor productividad de los mismos;
- Un aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión, lo cual disminuye la vida útil de éste y la de los demás componentes del sistema;
- Un aumento en los requerimientos de mantenimiento, que incrementa los paros no programados y, por último, obligará a elevar innecesariamente la capacidad del sistema de compresión.

Por consiguiente, las fugas representan pérdidas tanto energéticas, como económicas. Para la determinación de fugas se procede a aplicar un método¹⁴ sencillo y aproximado utilizando únicamente el manómetro del compresor y un cronómetro. La explicación de este método, se basa en el esquema de la figura 4.16.

¹⁴ Instituto Nacional de Energía INE, Cursos de Conservación de la Energía en la Industria, Auditorías de Sistemas de Aire Comprimido, Paginas 273 y 274, Marzo 1989.

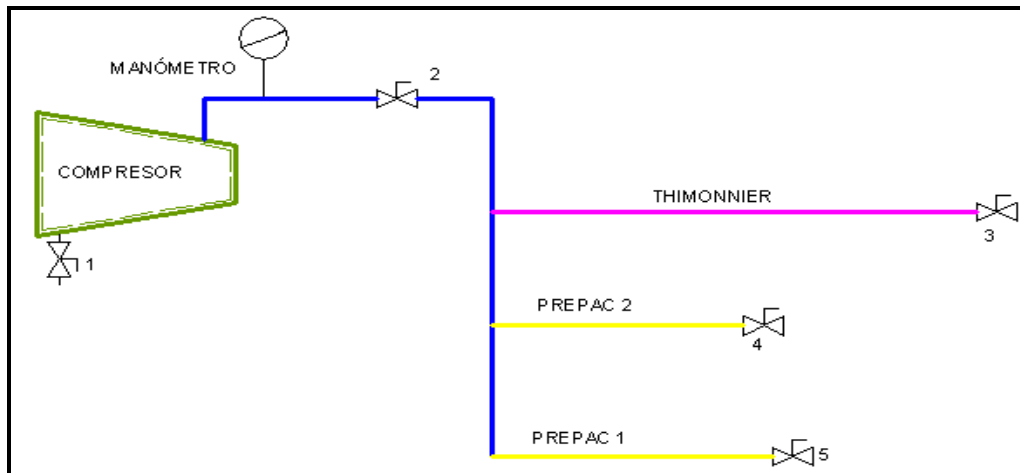


FIG4.16. ESQUEMA RED DE AIRE COMPRIMIDO

En primer lugar se asegura de que estén cerradas las válvulas 3, 4, y 5, se sube la presión de salida del aire hasta el valor de servicio que es de 120 (anexo B, código RC4) y en este instante se cierra la válvula 1. El compresor en ese instante queda funcionando en vacío (sin entrada de aire) y se mide el tiempo que transcurre en bajar la presión del manómetro a una presión de 80 psig (t_1 minutos). En ese momento se abre la válvula 1 dejando pasar aire al compresor y se mide el tiempo que transcurre en subir la presión del manómetro desde 80 a 120 psig (t_2 minutos). La tabla 4.12 indica las mediciones realizadas en el compresor siemens de mayor utilización en la planta.

TABLA 4.12

ILCSA: MEDICIONES PARA CALCULAR LAS FUGAS EN LA RED DE AIRE COMPRIMIDO			
HORA	t_1	t_2	
18h:15	3.90	2.22	
18h:20	3.75	2.28	
18h:25	4.50	2.45	
18h:30	4.76	2.57	
18h:35	4.14	2.38	
TIEMPO MEDIO	4.21	2.38	
FUENTE: INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A			

Con los datos de la tabla anterior y utilizando la expresión 4-58 se calcula la perdida aproximada por fugas

$$P_{\text{FUGAS}} = \frac{\dot{m} \times t_2}{t_1 + t_2} \quad (4-58)$$

Donde:

P_{FUGAS} → Perdidas por fugas.

t_1 → Tiempo medio que transcurre en bajar la presión desde 120 a 80 psig.

t_2 → Tiempo medio que transcurre en subir la presión desde 80 a 120 psig.

•
 m → Caudal nominal del compresor (51 cfm).

Remplazando los valores en la expresión anterior, las perdidas por fugas serán:

$$P_{FUGAS} = \frac{51 * 2.38}{(4.21 + 2.38)} = 18.42 \text{ cfm}$$

Porcentualmente, estas pérdidas representan:

$$\%Pérdidas = \frac{25.19}{51} * 100 = 36.12\%$$

En plantas industriales con redes de aire comprimido incorrectamente mantenidas, pérdidas por fugas varían hasta un 30% e incluso hasta un 50%¹⁵. De acuerdo a las recomendaciones, estas pérdidas no deben superar el 10% en instalaciones correctamente bien mantenidas. Por lo tanto, este alto porcentaje de perdidas por fugas en la red de distribución de aire denota de una instalación descuidada. Además, este alto porcentaje de fugas influye directamente en el costo de la factura eléctrica porque una fuga a través de un agujero consume aire constantemente. En el siguiente capítulo se plantean alternativas para reducir este porcentaje de fugas, con base al beneficio económico.

¹⁵ Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).

CAPÍTULO 5

ALTERNATIVAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO

El capítulo contiene alternativas para el ahorro energético en los diferentes sistemas auditados. Como primer punto se detalla la implantación de buenas prácticas energéticas en la empresa, luego, se establecen las mejoras que deben hacerse en el sistema de refrigeración de amoníaco en lo que tiene que ver a: Régimen de funcionamiento del equipo, aislamiento de tuberías de succión, descarga y banco de hielo y se expone los parámetros en los cuales deben funcionar el equipo para obtener ahorros económicos.

Se prosigue con las mejoras que se pueden realizar en el sistema de energía eléctrica en lo que tiene que ver con: Selección de tipo de conductor y contactor para los consumidores de energía eléctrica, selección de una batería de condensadores para corregir el factor de potencia y se concluye con las mejoras en el sistema de iluminación.

Luego de esto se establecen las mejoras en el sistema de generación y distribución de vapor, complementando con las mejoras propuestas para el sistema de aire comprimido.

5.1 BUENAS PRÁCTICAS ENERGÉTICAS EN LA EMPRESA¹⁶

La implementación de buenas prácticas energéticas en Industria Lechera Carchi traerá consigo el ahorro de energía. La realización de estas prácticas requiere en general de cierto nivel de entrenamiento y en muchos casos se requiere personal calificado, un buen mantenimiento de los equipos y un registro detallado de los consumos energéticos.

Para proponerse y lograr objetivos organizacionales Industria Lechera Carchi, debe ser coherente entre lo que se expresa en sus declaraciones y principios y lo que hace. Igualmente debe trabajar de forma evolutiva. Esta es la base de las buenas prácticas y el mejoramiento continuo.

La empresa debe tener principios ideológicos y creencias, las cuales formarán su sentir del compromiso social y medio ambiental, con lo cual de alguna forma se puede enfrentar responsablemente a la realidad en que se mueve y se aproxime a las diferentes preguntas importantes: ¿Cuál es la naturaleza de la organización, cuáles son los objetivos, para donde

¹⁶ Centro Nacional de Producción mas Limpia. Guía de Buenas Prácticas en el Uso Racional de la Energía Para el Sector Industrial. Medellín-Colombia.

vamos, qué compromiso juega la empresa dentro del entorno, su gente, sus colaboradores?, etc.

Estas ideas, creencias y pensamientos, son instrumentos que sirven para crear e interpretar la realidad. Modifican y gobiernan la forma en que la empresa se relaciona con ellos. Tales ideas tienen mucho que ver con las experiencias que Industria Carchi va a tener y con la posibilidad de crear nuevas realidades.

Para lograr el establecimiento de buenas prácticas, puede ser importante atreverse a pensar que en realidad la empresa va a experimentar este estado de desarrollo adicional, efectivo y rentable. Una forma de hacer esto es declarar que se cree en esta posibilidad. Por ello deben fijarse los objetivos de ahorro y las metas de forma clara y desafiante.

La idea es que ILCSA adopte una posición creativa, de forma que se empiecen a ejecutar trabajos concretos. En este sentido se trabaja en tres niveles. El de la acción sencilla del día de hoy, que tiene bajo costos y en la cual todos pueden participar. Este es un nivel efectivo y motivador que exige continuidad y trabajo con la gente.

El segundo nivel es más técnico es sus ejecuciones, involucra presupuestos, inversiones y gastos. Puede basarse en ideas de la gente, pero requiere tecnología para que quede bien ejecutado.

El tercer nivel es el del cambio mas sustancial hacia nuevas tecnologías, nuevos procesos. Requiere economía, inversión, claro liderazgo gerencial, proyectos y planeación. La organización debe trabajar en estos tres niveles. Ello implica siempre actitud creativa y flexible.

5.1.1 RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE BUENAS PRÁCTICAS

Industria Lechera Carchi para cambiar y evolucionar hacia un futuro sustentable debe observar las siguientes recomendaciones:

Conocer el área de trabajo y sentirla: base para las buenas prácticas

Para industria Lechera Carchi, se propone una rutina de observación especial para las distintas áreas de trabajo como base para las buenas prácticas. Esta rutina tiene 4 pasos, así:

Paso 1: Seleccionar un área de trabajo determinada (por ejemplo, área de yogurt). Esta selección debe responder a un objetivo claro que se desea lograr (Por ejemplo, implantar las cinco eses).

Paso 2: Observar el área de trabajo desde diferentes puntos de vista. Por ejemplo, como encargado de mantenimiento, como operario, como vendedor, como responsable de producción, cómo técnico de instrumentación, como investigador, como gerente, como profesor

universitario, como estudiante de práctica, como vendedor de repuestos, como encargado de lubricación, como inventor. Anotar los puntos que se consideren importantes.

Paso 3: Observar el área de trabajo en relación con los demás áreas de la empresa y procesos que tienen que ver con ella. Establecer los límites y las zonas por las cuales recibe transferencia de masa y energía. Elaborar diagramas de flujo y balance.

Paso 4: Sentir a fondo el área de trabajo. Asegurarse de que se conocen sus planos y de que se han contrastado con las prácticas y procedimientos de trabajo existentes. Velar porque se cuente con una mínima teoría operativa que permita deducir sus límites y puntos deseables de trabajo. Consultar con expertos si es el caso.

Como resultado de estas buenas prácticas de observación, hechas a fondo o en forma sencilla o aproximada, se van a obtener ideas claras para adelantar racionalizaciones y buenas prácticas operativas.

Cada área debe contar con registros, con unas carpetas que registren su historia, que se puedan consultar y donde se anoten los cambios y las mejoras.

Creatividad responsable

La empresa debe ser creadora de su futuro. La energía es lo que mueve al mundo y a la empresa. Crear formas correctas de trabajar la energía es una de las responsabilidades y además es rentable, competitivo y sano. La empresa debe entender que las futuras generaciones tienen derecho a encontrar recursos energéticos para que su vida sea feliz.

Observación participativa

Los Momentos están muy influidos por el motivo. El observador crea la realidad. La empresa construye el desarrollo sostenible energético al decidirse por una visión creativa y renovadora que cambie los hábitos descuidados y desordenados del pasado. En la construcción del desarrollo sostenible todos participan.

Manejo de la incertidumbre

No son posibles hechos o aspectos que sean totalmente ciertos. Toda la vida es un trabajo indeterminado en progreso. Pero en la ausencia de certidumbre siempre es posible un cambio favorable. La empresa puede ser estratégica y plantear un manejo de las amenazas tal que las convierta en oportunidades, de debilidades tal que las convierta en fortalezas. La empresa puede aprovechar las oportunidades para ahorrar y sus fortalezas para el logro del cambio hacia las buenas prácticas. La empresa aprovecha el análisis de las amenazas y de las debilidades para impulsar el mejoramiento continuo que nunca termina.

La asociación

La comprensión de la existencia de lados opuestos en todas las cosas nos libera de la creación de limitaciones artificiales. Esta libertad hace que la responsabilidad sea posible. Cuando la empresa descubra estas posibilidades descubre los beneficios de hacer parte de grupos de trabajo, de unirse a otras empresas, de trabajar con las universidades, de aprovechar los programas estatales, de estimular el trabajo en grupo y de aumentar el compromiso desde las prácticas industriales hasta llegar a la tecnificación de su recurso humano.

La unidad

Todo lo que existe en el cosmos es inseparable. Desde la unión de conceptos, de cuerpos, de mentes, de ideales de esfuerzos, de información; desde todas las uniones, surgen los programas que valen la pena y que armonizan a la sociedad. Por eso la empresa debe unirse con los proveedores, con los asesores, con los clientes, con los trabajadores, con las universidades, con el estado para lograr las buenas prácticas energéticas, ya que todos tienen parte de la clave. Asociarse optimiza el trabajo empresarial. Ello da fuerza y sentimiento compartido.

Alternativas variadas

Hay varios niveles de realidad. Hay varios niveles de conciencia. El sentido de la vida es tan amplio y rico como nuestras conciencias y nuestras creaciones lo permitan. El estar limitado por creencias pequeñas y limitantes crea rigidez mental y no permite el cambio. Es importante compararse con los demás y tener modelos de mejora para los distintos procesos, establecer estándares, plantear metas, exponerse a visitas de asesores, ir a cursos, capacitarse, escuchar a la gente, conversar con clientes, proveedores, asistir a ferias.

Sentir la realidad de los demás y de todo lo que rodea como propia es ampliar nuestro horizonte y disfrutar de nuevos y mejores puntos de vista.

Manejo del tiempo

El concepto debilitado y lineal que hemos asignado al tiempo, evita que observemos el universo de una ojeada. Por ello tenemos que aprender poco a poco, con frecuencia a punta de muchos errores, a punta de amenazas para la vida. La vida se ve mejor desde una perspectiva más amplia. En esencia es importante entender y mantener el eterno presente.

La empresa debe establecer procedimientos y ser organizada. Así se va a evitar repeticiones de errores y costos debido a ineficiencias. El manejo correcto de la energía va a estar relacionado con la optimización de los procesos. En el fondo esto consiste en hacerlos más fluidos, en evitar acumulaciones, cosas por hacer, en cumplir lo que se promete, en trabajar con calidad.

Los directivos a través de la gerencia y sus departamentos deben tener tiempo para escuchar las inquietudes que salen de todas partes y de alguna forma plantear una visión participativa en cuyos logros todos se conviertan de alguna manera en gerentes de su propio trabajo. Eso creará responsabilidad para con la empresa.

La energía

La vida, la naturaleza y todos nosotros somos la manifestación de un potencial infinito que se manifiesta energéticamente. Industria Carchi forma parte de este movimiento energético. Las personas son también parte de este flujo. En la conciencia del potencial infinito está la fuente de los comportamientos responsables.

La empresa debe estar dispuesta y atenta a crecer, a dominar sus nichos con energía inagotable, que sale del amor por lo que se hace.

Mantenimiento y manejo del deterioro de las cosas

Existen leyes del cambio que llevan a que las cosas se desordenen y se dañen, si se las deja sueltas y abandonadas. Por esta razón se da lugar con el tiempo a pérdidas y crisis. Todo elemento natural está en proceso de desintegración y de integración. Las crisis contienen la clave del desarrollo. Las cosas se agitan para cambiar de nivel. En este sentido, debido a que la empresa solo practica el mantenimiento de emergencia, es importante plantear programas de mantenimiento preventivo para que los equipos y el medio no se deterioren. Es importante prestar atención a los equipos e instrumentos, pues se descalibran y se salen de los puntos de trabajo deseables. Ello implica invertir, pero puede ser más rentable el punto final. No se debe temer al cambio, pero se requiere manejo responsable de los recursos. Es importante crear limpieza y orden en los equipos para llegar a sus puntos de trabajo eficientes.

La catálisis

Hay poderosos efectos escondidos en las pequeñas variaciones de los parámetros que influyen sobre la realidad. El orden caótico es parte natural de la existencia. La realidad es mucho más compleja, y paradójicamente, más simple de lo que se cree. La celebración de la complejidad es la ceremonia que da origen a saber trabajar en equipo y con el otro y sobre todo respetando el medio donde uno se encuentra.

Existen los catalizadores, que son elementos que facilitan el cambio. Un asesor, un curso, la idea de una persona, un intercambio con un cliente, asistir a una feria. Son pequeños eventos de alcance insospechado. La empresa se debe catalizar con frecuencia en todas sus áreas.

Es bueno prestar atención a los pequeños detalles, pues pueden catalizar los grandes problemas y las grandes soluciones.

5.1.2 EL COMPROMISO EMPRESARIAL CON LAS BUENAS PRÁCTICAS DE USO ENERGÉTICO

Como una aplicación energética de estos principios, Industria Carchi podría o debería intentar al menos adoptar una declaración de manejo responsable energético para hacer explícito este compromiso empresarial. Por lo que se presenta a continuación un modelo propuesto para ello.

5.1.2.1 Políticas energéticas de la empresa

La junta directiva de Industria Lechera Carchi S.A, aprobaría estas políticas para su ejecución en una reunión del día..... del mes de.....del 2007.

La junta directiva debería establecer que todos los departamentos de la empresa apoyen y cumplan estos principios en sus operaciones y que dichas políticas se revisarán y se mantendrán actualizadas siempre que se considere necesario.

Estas políticas son parte integral de todas las operaciones de la empresa

Industria Lechera Carchi S.A considera que los temas energéticos son componentes integrales de sus operaciones. El manejo responsable de estos recursos, es esencial para lograr el éxito en su negocio y para disfrutar de la aceptación de la sociedad y de las comunidades vinculadas al desarrollo de la empresa. Industria Lechera Carchi S.A reconoce y acepta los principios del desarrollo sostenible como marco general de sus actividades.

Lo anterior se aplicaría a la totalidad de las operaciones de Industria Lechera Carchi S.A. para lo cual las metas de la empresa deben ser:

- Operar sin causar daños o impactos negativos a la gente o al ambiente en el manejo de los energéticos.
- Manejar la energía como un bien costoso que debe conservarse y ahorrarse, como herramienta primordial para reducir costos.
- Diseñar sus instalaciones en un ambiente que impulse condiciones adecuadas de salud ocupacional y seguridad en los sistemas que consuman energía.
- Adelantarse a las exigencias ambientales y técnicas de las autoridades del área como: empresa eléctrica, municipio y cuerpo de bomberos.

Para alcanzar estas metas, se ha decidido adoptar los principios de mejoramiento continuo y destinar recursos a programas de buenas prácticas y racionalización de consumos de energía.

5.1.2.2 Nuestras formas internas de trabajo

Para lograr el éxito se ha decidido impulsar las siguientes ideas de la forma de trabajo en la organización:

- Todos los empleados deben participar y colaborar en estos asuntos.
- Crear un sentido de responsabilidad personal en todos los niveles de la organización, apoyando su creatividad.
- Los temas energéticos son parte de todo proceso de toma de decisiones.
- Se trabaja de forma proactiva y consistente.
- La empresa debe estar pendiente de los desarrollos técnicos apropiados a la empresa para en lo posible aplicarlos.
- Se hace énfasis en lo preventivo.

Por consiguiente, las buenas prácticas y la racionalización de los recursos de energía se refieren a dispositivos concretos con los cuales se trabaja en ILCSA y a los cuales se pueden aplicar los ahorros. Por ello es importante contar con un conocimiento básico de estos elementos. A partir de la presente auditoria exergética, Industria Lechera Carchi, contará con conocimientos básicos de sus equipos y sistemas auditados, dejando de esta forma una base sólida para cualquier cambio que se desee realizar en la empresa. A continuación se presentan algunos aspectos a tener en cuenta en los equipos/ sistemas de industria lechera Carchi.

5.2 MEJORAS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO

Existen oportunidades de ahorro desde el momento de diseño de los sistemas de refrigeración y otras factibles de aplicar durante la explotación de las instalaciones existentes. En la etapa de diseño y proyecto se pierden en muchas ocasiones las mejores oportunidades de lograr instalaciones eficientes, consistentes con la necesidad del ahorro de energía, las que una vez en funcionamiento tienen pocas posibilidades de corrección, por parte del personal de explotación interesado en esta tarea. Tal es el caso, por ejemplo, del sobredimensionamiento del equipo, la no incorporación al diseño de los principios de la física ambiental y la arquitectura bioclimática para reducir las cargas de enfriamiento, la mala ubicación de condensadores, etc. Las medidas para reducir el consumo y los costos energéticos en instalaciones de

refrigeración se pueden agrupar en tres direcciones fundamentales¹⁷ y se las indica en la figura 5.1:

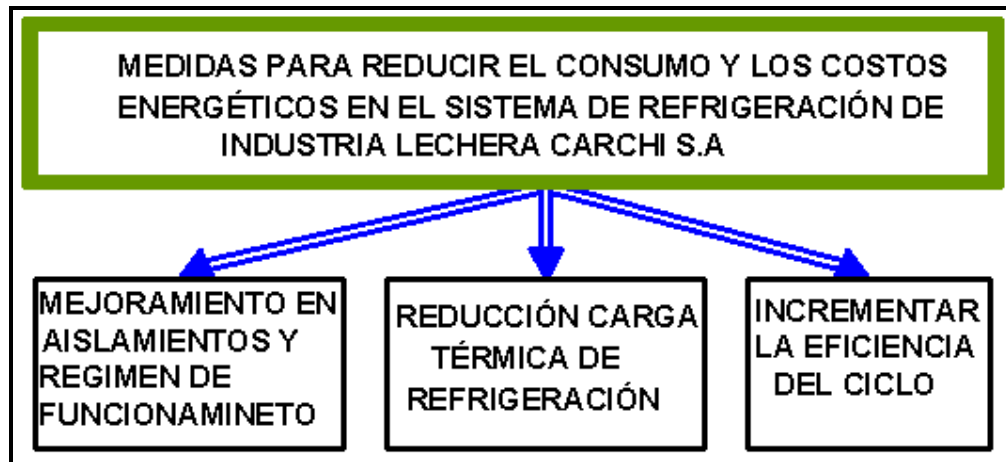


FIG5.1. MEDIDAS PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE ILCSA.

El sistema de refrigeración de amoníaco (banco de hielo) de Industria Carchi es el mayor consumidor de electricidad. Como se determinó en el capítulo 3 (apartado 3.4.1.3) el costo de operación del equipo en el 2006 fue de \$18527, lo cual representa el 60.8% del costo en electricidad que actualmente tiene la empresa. Uno de los objetivos de esta auditoría es establecer recomendaciones para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de electricidad en el sistema.

El banco de hielo, es un sistema de refrigeración indirecto, en donde el evaporador está situado en una reserva llena con el conductor de frío (agua). Este evaporador consiste en un sistema de tuberías en el cual el refrigerante se evapora para producir una capa de hielo sobre los tubos y mantener el agua a baja temperatura.

Para cumplir esta función, el banco de hielo almacena hielo en el cual se acumula el frío en un determinado tiempo en el que no se requiere del agua fría, formándose hielo alrededor de los tubos del evaporador (generalmente el tiempo de almacenaje es de 16 horas) y cuando el proceso requiere frío, se saca el frío de este banco de hielo por medio de una bomba de agua que recircula ésta, por el evaporador para enfriar el producto. Es decir, el fluido refrigerante circula por el interior de los tubos del evaporador generando y acumulando hielo sobre la pared externa de los mismos y bombeando el agua acumulada en el tanque, el retorno del agua produce el derretimiento de dicha acumulación (external melt).

Como se puede ver, un banco de hielo permite que la capacidad de enfriamiento se almacene en una reserva aislada con un conductor de calor y un amortiguador de frío (amortiguador de hielo). Entonces, el amortiguador de frío (formación de hielo alrededor de las tuberías) hace posible enfriar en situaciones en donde la demanda de electricidad es alta y significa que el

¹⁷ Curso de Gestión Energética en Sistemas Térmicos, Aníbal Borroto Nordelo, Quito-Ecuador, 2007.

sistema de enfriamiento puede apagarse para evitar la saturación de energía en horas picos de funcionamiento de la empresa.

5.2.1 MEJORAS EN AISLAMIENTOS Y REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

Régimen de funcionamiento del equipo

El sistema de refrigeración de Industria Lechera Carchi S.A. (banco de hielo), durante el 2006 habría trabajado un promedio 20 horas diarias. Este sistema en la actualidad opera entre 12 y 14 horas diarias en el horario de 4 a 17 horas, durante el proceso de pasteurización.

De lo anterior se puede deducir claramente que el sistema no está funcionando como un banco de hielo, ya que según lo explicado, el sistema de refrigeración debería prenderse en un horario nocturno (17 a 7 horas) para que durante este lapso de tiempo acumule el frío necesario para ser consumido al día siguiente durante la pasteurización, ya que la pasteurización se realiza desde las 7 horas hasta las 15 horas.

Pero, para lograr este cometido, no basta solo con prender el equipo toda la noche a su suerte, si no que, debe existir un plan de mantenimiento del equipo, para que este funcione dentro de rangos adecuados y produzca la capa de hielo necesaria para soportar las cargas a él aplicadas (carga de la leche enfriada).

El realizar una gestión del mantenimiento en este sistema, no solo reduciría costos por mal funcionamiento del equipo, sino que permitiría tener en stock repuestos importantes que en un momento determinado evitaría la parada total de este equipo crítico¹⁸. En este sentido, la empresa debe enfocar la mayor parte de los recursos de mantenimiento a este equipo, ya que desde el punto de vista de la producción un posible fallo (fallo funcional¹⁹) del equipo representaría pérdidas económicas importantes para la empresa.

Asilamiento de la tubería succión

El vapor que proviene del evaporador se vuelve sobrecalentado mientras fluye por la tubería de succión localizada fuera del espacio refrigerado. El calor tomado por el vapor es absorbido del aire de los alrededores. Este sobrecalentamiento del vapor de la succión del compresor puede

¹⁸ Equipo crítico, es aquel cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.

¹⁹ Fallo Funcional, es aquel que impide al equipo o al sistema analizado cumplir su función y se diferencia del fallo técnico, porque este último, es aquel que no impidiendo al equipo cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de éste.

evitarse aislando la tubería de succión. Por lo tanto, la pérdida de eficiencia del ciclo es suficiente para justificar el gasto que representa el aislamiento de la tubería de succión. En este sentido, la teoría²⁰ dice: “Cuando la temperatura de succión es relativamente alta entre 35 y 40 °F (1.7 y 4.4 °C), la cantidad de sobrecalentamiento resultará ser muy pequeña y podrá despreciarse su efecto en la eficiencia del ciclo”. Lo opuesto es cierto, sin embargo, cuando la temperatura en la succión es baja, la cantidad de sobrecalentamiento será alta.

Con temperaturas bajas en la succión, cuando el COP del ciclo es bajo, cada grado de sobrecalentamiento causaría una mayor reducción en el porcentaje del COP del ciclo que para el caso de tener temperatura alta en la succión.

Bajo estas condiciones es necesario aislar la tubería de succión si el COP del ciclo debe mantenerse a un nivel razonable. A pesar de cualquier consideración que se haga con respecto a la capacidad, aun cuando las temperaturas de succión sean altas, el aislamiento de la tubería de succión es con frecuencia necesario para prevenir la formación de escarcha o sudamiento de la tubería de succión.

5.2.2 REDUCCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN

Al disminuir la carga térmica, se disminuye el consumo de energía en el compresor de refrigeración, en la bomba de circulación y los ventiladores de las torres de enfriamiento y otros equipos auxiliares.

5.2.2.1 Mejora en el aislamiento del banco de hielo

En las actuales condiciones del banco de hielo de Industria Carchi, se tiene que existe una ganancia de calor por conducción, convección y radiación, esto debido a las siguientes causas:

- El banco se encuentra ubicado en un cuarto en una zona despejada, donde recibe influencia del medio ambiente.
- Este cuarto no se encuentra tapado para evitar la entrada de aire del medio ambiente y la entrada de sol. Tiene una rejilla que impide la entrada de elementos extraños al sistema.
- El banco de hielo en si, es una piscina la cual tiene una pared de ladrillo común que está en contacto con el agua y una pared de cemento mas piedra pequeña. Estas constituyen el aislante del banco.

²⁰ Roy Dossat, Principios de Refrigeración, Primera Edición, Décimo Séptima reimpresión, México 1997, paginas 151 y 152.

- Las superficies de la piscina se encuentran llenas de lodo y con algas, lo cual denota una despreocupación por darle una mínima limpieza.

La recomendación en este sentido serían las siguientes:

- Cubrir el cuarto de forma tal, que se evita la entrada de aire y sol. Con esto se eliminaría la transferencia de calor por radiación. El sellado se lo debería hacer con una pared de ladrillo o madera, dejando una puerta para mantenimiento.
- Intercalar entre la pared de ladrillo y cemento duro una capa de 2" de lana de vidrio para mejorar el sistema de aislamiento del banco de hielo, tal como de se indica en la figura 5.2.
- Realizar limpiezas semanales de la piscina, para evitar la acumulación de lodos y algas, las cuales pueden obstruir la libre circulación del agua hacia el proceso de enfriamiento.

Implementando las propuestas anteriores en el banco de hielo, la nueva ganancia de calor por las paredes sería:

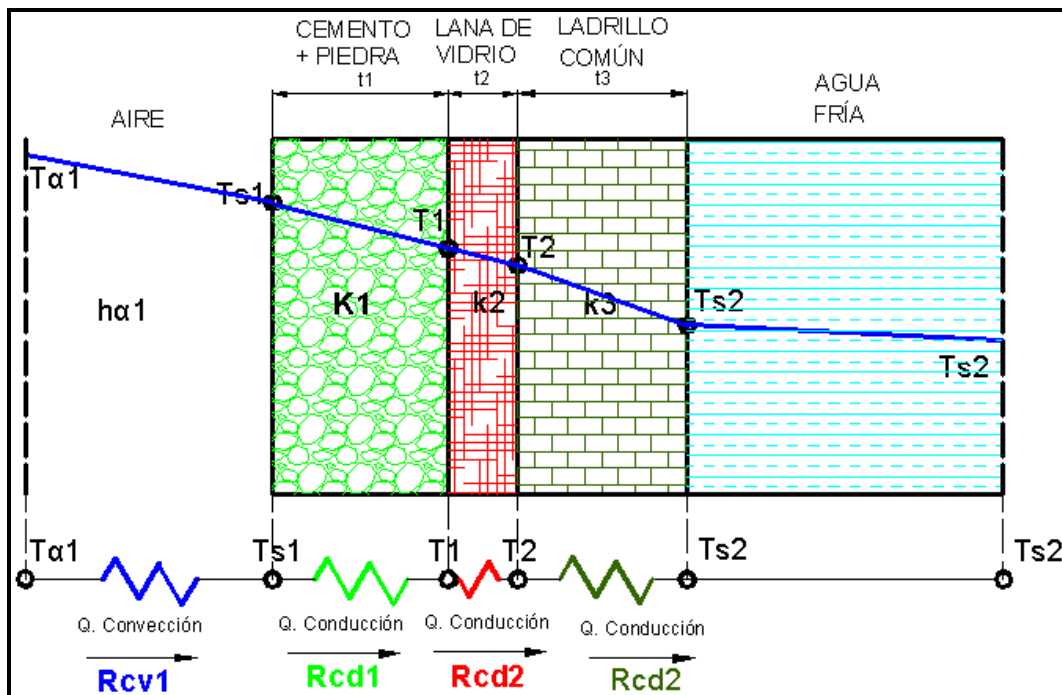


FIG5.2. ANALOGÍA ELÉCTRICA PROPUESTA PARA EL BANCO DE HIELO DE ILCSA CON LANA DE VIDRIO

Estos aislantes deben recubrir la totalidad del banco para minimizar los efectos de la transferencia de calor. Además, el cuarto donde está el banco de hielo debería estar totalmente cubierto para evitar la entrada de la luz solar y de esta forma reducir la radiación. Por lo tanto las pérdidas en el banco de hielo propuesto quedan:

Datos

$k_1 := 1.047$	$\frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad cemento+pedra pequeña (Cemento duro)
$k_2 := 0.036$	$\frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del la lana de vidrio
$k_3 := 0.52$	$\frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del ladrillo común
$T_{\alpha 1} := 15.64 + 273.51$	K	Temperatura del medio ambiente
$T_{s1} := 8 + 273.15$	K	Temperatura pared exterior del banco de hielo
$T_{s2} := 2 + 273.15$	K	Temperatura agua del banco de hielo
$t_1 := 0.5492$	m	Espesor pared de cemento duro
$t_2 := 0.0508$	m	Espesor de la lana e vidrio (2")
$t_3 := 0.3$	m	Espesor de pared de ladrillo común
$w_{ac} := 4.47$	m	Ancho de la pared A y C
$w_{bd} := 5.04$	m	Ancho de la pared B y D
$h_a := 3$	m	Altura del banco de hielo
$w_i := 3.30$	m	Ancho interior del banco de hielo
$g := 9.7799$		Aceleración de la gravedad en la línea ecuatorial

Propiedades del aire a T_{m1}

$$T_{m1} := \frac{T_{\alpha 1} + T_{s1}}{2}$$

$$T_{m1} = 285.15 \quad K$$

Las propiedades del aire a T_{m1} son:

$$k_{\alpha 1} := 25.098 \cdot 10^{-3} \quad \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{Conductividad térmica del aire a } 11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\nu_{\alpha 1} := 12.411 \cdot 10^{-6} \quad \frac{m^2}{s} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire}$$

$Pr_{\alpha 1} := 0.7109$ (adimensional) Número de Prandtl

$Cp_{\alpha 1} := 1.0067 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ Calor específico del aire

$$\beta_{\alpha 1} := \frac{1}{T_{m1}}$$

$\beta_{\alpha 1} = 3.507 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ Coeficiente volumétrico de expansión térmica

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$Gr_{\alpha 1} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s1}) \cdot w_{ac}^3}{\nu_{\alpha 1}^2}$$

$Gr_{\alpha 1} = 1.591 \times 10^{11}$ (adimensional)

El número de Nusselt se calcula con la siguiente expresión

$$Nu_{\alpha 1} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$Nu_{\alpha 1} = 546.831$ (adimensional)

El coeficiente de convección $h_{\alpha 1}$ queda:

$$h_{\alpha 1} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nu_{\alpha 1}}{w_{ac}}$$

$h_{\alpha 1} = 3.07 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

Cálculo de la resistencia de convección R_{cv1} , para la pared A y C:

$$R_{cv1} := \frac{1}{h\alpha_1 \cdot w_{ac} \cdot h_a}$$

$$R_{cv1} = 0.024 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia de conducción R_{cd1} , pared A y C

$$R_{cd1} := \frac{t_1}{k_1 \cdot w_{ac} \cdot h_a}$$

$$R_{cd1} = 0.039 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia de conducción R_{cd2} , pared A y C:

$$R_{cd2} := \frac{t_2}{k_2 \cdot (w_{ac} - t_1) \cdot h_a}$$

$$R_{cd2} = 0.12 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia de conducción R_{cd3} , pared A y C:

$$R_{cd3} := \frac{t_3}{k_3 \cdot (w_{ac} - 2 \cdot t_2 - t_1) \cdot h_a}$$

$$R_{cd3} = 0.05 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared A y C será:

$$Q_{ac} := 2 \cdot \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s2}}{R_{cv1} + R_{cd1} + R_{cd2} + R_{cd3}} \right)$$

$$Q_{ac} = 119.799 \quad \text{Watts}$$

Ganancia de calor en la pared D:

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$\underline{Gr_{\alpha 1}} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s 1}) \cdot wbd^3}{\nu_{\alpha 1}^2}$$

$$Gr_{\alpha 1} = 2.28 \times 10^{11} \quad (\text{adimensional})$$

El número de Nusselt se calcula con la siguiente expresión

$$\underline{Nu_{\alpha 1}} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu_{\alpha 1} = 614.03 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de convección $h_{\alpha 1}$ queda

$$\underline{h_{\alpha 1}} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nu_{\alpha 1}}{wbd}$$

$$h_{\alpha 1} = 3.058 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Cálculo de la resistencia por convección R_{cv1} , pared D:

$$\underline{R_{cv1}} := \frac{1}{h_{\alpha 1} \cdot wbd \cdot ha}$$

$$R_{cv1} = 0.022 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción R_{cd1} , pared D:

$$\underline{R_{cd1}} := \frac{t1}{k1 \cdot wbd \cdot ha}$$

$$R_{cd1} = 0.035 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción Rcd₂ pared D

$$R_{cd2} := \frac{t_2}{k_2 \cdot (w_{bd} - 2 \cdot t_1) \cdot ha}$$

$$R_{cd2} = 0.119 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción Rcd₃ pared D:

$$R_{cd3} := \frac{t_3}{k_3 \cdot (w_{bd} - 2 \cdot t_1 - 2 \cdot t_2) \cdot ha}$$

$$R_{cd3} = 0.05 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared D será:

$$Q_d := \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s2}}{R_{cv1} + R_{cd1} + R_{cd2} + R_{cd3}} \right)$$

$$Q_d = 62.019 \quad \text{Watts}$$

Ganancia de calor en la pared B:

El número de Grashof se calcula de la siguiente manera:

$$Gr_{\alpha 1} := \frac{g \cdot \beta_{\alpha 1} \cdot (T_{\alpha 1} - T_{s1}) \cdot w_{bd}^3}{\nu_{\alpha 1}^2}$$

$$Gr_{\alpha 1} = 2.28 \times 10^{11} \quad (\text{adimencional})$$

El número de Nusselt se calcula con la siguiente expresión:

$$Nu_{\alpha 1} := \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot (Gr_{\alpha 1} \cdot Pr_{\alpha 1})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.493}{Pr_{\alpha 1}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu_{\alpha 1} = 614.03 \quad (\text{adimensional})$$

El coeficiente de convección $h_{\alpha 1}$ queda

$$h_{\alpha 1} := \frac{k_{\alpha 1} \cdot Nu_{\alpha 1}}{wbd}$$

$$h_{\alpha 1} = 3.058 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Cálculo de la resistencia por convección R_{cv1} pared B:

$$R_{cv1} := \frac{1}{h_{\alpha 1} \cdot wbd \cdot ha}$$

$$R_{cv1} = 0.022 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción R_{cd2} pared B:

$$R_{cd2} := \frac{t2}{k2 \cdot (wbd - 2 \cdot t1) \cdot ha}$$

$$R_{cd2} = 0.119 \quad \frac{K}{W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción R_{cd3} pared B:

$$R_{cd3} := \frac{t3}{k3 \cdot (wbd - 2 \cdot t1 - 2 \cdot t2) \cdot ha}$$

$$R_{cd3} = 0.05 \quad \frac{K}{W}$$

La ganancia de calor por conducción y convección a través de la pared B será:

$$Q_b := \left(\frac{T_{\alpha 1} - T_{s2}}{R_{cv1} + R_{cd2} + R_{cd3}} \right)$$

$$Q_b = 73.281 \text{ Watts}$$

La ganancia de calor a través de las paredes del banco de hielo será igual a:

$$Q_{\text{banco}} := Q_{ac} + Q_d + Q_b$$

$$Q_{\text{banco}} = 255.099 \text{ Watts}$$

$$Q_{\text{Paredesbancoprop}} = 0.2551 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{Paredesbancoprop}} = 918.36 \text{ [kJ/h]}$$

Se puede ver que, al aislar las paredes del banco de hielo con lana de vidrio de 2" de espesor y tapar el cuarto del banco de hielo evitando que entre el sol, se obtiene una transferencia de calor hacia el banco de hielo de 0.46 kW que es indudablemente menor a la calculada en las circunstancias actuales (3 kW).

5.2.2.2 Disminución en el nivel de agua en el banco de hielo

El disminuir el nivel de agua en el banco de hielo de Industria Carchi, significa reducir la masa de agua hacer enfriada, lo cual repercutiría en la disminución de la carga térmica del sistema.

De las observaciones realizadas en la empresa el nivel del agua en el banco de hielo es al filo de la piscina, es decir, que la piscina del banco de hielo que por dimensiones interiores tiene 3.3x3.3x3 metros se encuentra totalmente llena y casi rebotando el agua.

Bajo estas circunstancias el volumen de agua que actualmente tiene el banco de hielo es de 32.67 m³, esto representa una masa de 32670 kgm de agua que tiene que ser enfriada.

La propuesta en este sentido es que este volumen actual de agua se reduzca en un 35%, es decir, que el nuevo volumen de agua sería de 21.24 m³ (21235.5 kgm de agua).

Con esto a más de reducir la carga térmica de refrigeración, el nivel del agua estaría aproximadamente unos 23 centímetros debajo del filo de la piscina y no se correría el riesgo de que alguna vez se rebota el agua de la piscina. Por lo tanto, con el nuevo nivel del agua, el calor cedido por el agua en enfriarse desde la temperatura de ingreso hasta la temperatura de congelación sería de:

$$Q_{\text{Producto}} = m_{\text{agua}} * c * \Delta T$$

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 21.2355 \text{m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 21235.5 \text{ kgm de agua}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 21235.5 \text{kgm} * 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kgm} * \text{K}} * (278 - 273) \text{K}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 448069.05 \text{ [kJ/13h]} \quad \text{Dividido para 13 horas}$$

$$Q_{\text{Productoagua}} = 34466.85 \text{ [kJ/h]} \quad \text{Carga horaria}$$

Calor cedido por el agua durante su solidificación

El calor cedido por el agua durante su solidificación (durante su congelamiento) se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Congelamiento}} = m_{\text{agua}} * h_{\text{if}} \quad (5-1)$$

Donde:

m → Masa de agua que debe enfriar la leche en la etapa tres del pasteurizador, esta masa es igual a 10000 Litros (Catálogo pasteurizador).

h_{if} → Calor latente de fusión del agua a 1Atm.

$$Q_{\text{Congelamiento}} = 10000 \text{ kgm} * 333.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgm}}$$

$$Q_{\text{Congelamiento}} = 3337000 \text{ [kJ/13h]}$$

$$Q_{\text{Congelamiento}} = 256692.31 \text{ [kJ/h]}$$

La carga total de enfriamiento es la suma de las ganancias de calor individuales calculadas anteriormente, así:

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO PROP.}} = Q_{\text{Paredesbanco}} + Q_{\text{Agua}} + Q_{\text{Congelamiento}}$$

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO PROP.}} = 918.36 + 34466.85 + 256692.31 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO PROP.}} = 292077.52 \text{ [kJ/h]}$$

La potencia real demanda por el compresor en estas circunstancias, se la calcula con la siguiente expresión:

$$\text{COP}_{\text{Real}} = \frac{Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}}}{\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}}} \Rightarrow \dot{W}_{\text{POTENCIA REAL}} = \frac{Q_{\text{TOTAL DE ENFRIAMIENTO}}}{\text{COP}_{\text{Real}}}$$

$$\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL PROP.}} = \frac{292077.52 \text{ kJ/h}}{3.69}$$

$$\dot{W}_{\text{POTENCIA REAL PROP.}} = 79153.799 \text{ [kJ/h]} \quad \dot{W}_{\text{POTENCIA REAL PROP.}} = 21.99 \text{ [kW]}$$

Por lo tanto, se si toma la decisión de reducir el nivel de agua en el banco de hielo, de aislar el banco con lana de vidrio de 2" de espesor (aislamiento tipo sándwich) y de mantener constante la cantidad de agua requerida por el pasteurizador en la tercera etapa (Etapa de enfriamiento) la potencia real demanda por el compresor será de 22 kW, con lo cual se estaría utilizando al máximo de su capacidad el equipo instalado en la planta.

5.2.3 MEJORA EN EL COP DEL CICLO

El equipo de refrigeración debe trabajar de acuerdo a los puntos de ajuste de las presiones y temperaturas del refrigerante en su paso por el condensador a temperatura alta y en su paso por el evaporador temperatura baja. Estos puntos tienen rangos que dan lugar a los menores consumos de energía.

Para seleccionar adecuadamente estos puntos de funcionamiento, se ha seguido las recomendaciones que se dan en el catalogo del compresor MYCOM (Mycom Reciprocating Compressor Manual, anexo C), las cuales señalan que:

- La presión en el lado de alta debe estar entre 114 a 190 psig (8 a 13.5 kg/cm²). Se trabajará con el valor medio de esta recomendación realizada por el fabricante, por lo tanto la presión en el lado de alta será de 152 psig (10.68 kg/cm² ó 1047.13 kPa manométricos).
- La presión en lado de baja debe estar entre 14 a 23 psig (1 a 1.6 kg/cm²). El valor medio de esta recomendación sería de 18.5 psig (1.3 kg/cm² ó 127.45 k Pa manométricos).
- La temperatura de descarga debe estar entre 80 a 140 °C. De igual forma el valor medio de esta recomendación debe es 115 °C (239 °F).
- Con estos valores se ingresó en el diagrama de Molier y se obtiene la temperatura en el evaporador y condensador, la cual es de -16°C y 30 °C respectivamente.

A continuación se procederá a calcular el COP del ciclo con estos valores. Para el análisis del ciclo en este punto vamos a utilizar el diagrama p-h del R717 (amoniaco, anexo C).

Comenzaremos nuestro análisis por el punto A, en este punto sabemos que tenemos líquido saturado a la presión condensante. Las propiedades del punto A se las obtuvo de las tablas de saturación del amoníaco y son:

$$T_A = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_A = 1098.04 \text{ KPag} \quad \Rightarrow \text{Presión de saturación}$$

$$h_A = 339.04 \text{ KJ/Kg}$$

La presión en el evaporador la encontramos a partir de la temperatura en el evaporador, puesto que en este punto el refrigerante se encuentra como una mezcla líquido -vapor saturado, punto B.

$$T_B = -16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_B = 157.45 \text{ KPag} \quad \Rightarrow \text{Presión de saturación}$$

$$h_A = h_B = 339.04 \text{ KJ/Kg}$$

$$x_B = 13.50 \%$$

$$x_B = \frac{h_{B'} - h_f}{(h_f + h_g)}$$

$$x_B = \frac{339.04 - 127.4}{(127.4 + 1441.78)}$$

$$x_B = 0.1349 \rightarrow 13.5\%$$

Para encontrar el punto D sobre el diagrama p-h (anexo C), lo podemos hacer intersecando la presión y temperatura en la descarga. Las propiedades de este punto son:

$$p_D = 1047.13 \text{ KPag}$$

$$T_D = 115 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_D = 1720 \text{ KJ/Kg}$$

Ingresando verticalmente con la presión a la entrada del compresor (Presión de succión) y bajando por la línea de entropía constante en el anexo C, podemos obtener las propiedades del refrigerante en el punto C. Las propiedades del refrigerante en este punto son:

$$p_C = 127.45 \text{ KPag}$$

$$T_C = -10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_C = 1450 \text{ KJ/Kg}$$

Una vez que se ha graficado los puntos anteriores sobre el diagrama p-h del anexo C, se puede encontrar las características del punto C', cuyas propiedades son:

$$p_{C'} = 181.11 \text{ KPag}$$

$$T_{C'} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{C'} = 1430 \text{ KJ/Kg}$$

En la tabla 5.1 se tienen las entalpías y condiciones del refrigerante en el ciclo de refrigeración, bajo los puntos de operación recomendados por el fabricante del equipo.

TABLA 5.1

ILCSA: PROPIEDADES DEL REFRIGERANTE CON COP PROPUESTO					
	PRESIÓN [kPag]	TEMPERATURA [°C]	ENTALPIA [kJ/Kg]	TITULO [%]	CONDICIÓN DEL REFRIGERANTE
A	1098.04	30.00	339.04	-----	Líquido subenfriado
B	157.45	-16.00	339.04	13.5	Mezcla líquido-vapor
C	123.45	-10.00	1450.00	-----	Vapor sobrecalentado
C'	181.11	-20.00	1430.00	-----	Vapor saturado
D	1540.04	115.00	1720.00	-----	Vapor sobrecalentado

FUENTE: ANEXO 3 Y TABLAS DE PROPIEDADES DEL NH₃

Efecto refrigerante “q_e”

$$q_e = h_{C'} - h_B \quad [\text{kJ/kgm}]$$

$$q_e = 1430 - 339.04$$

$$q_e = 1090.96 \quad [\text{kJ/kgm}]$$

Calor de compresión “q_w”

$$q_w = h_D - h_C \quad [\text{kJ/kgm}]$$

$$q_w = 1720 - 1450$$

$$q_w = 270 \quad [\text{kJ/kgm}]$$

Coeficiente de desempeño “C.O.P”

$$\text{COP} = \frac{q_e}{q_w}$$

$$\text{COP} = \frac{1090.96[\text{kJ/kgm}]}{270[\text{kJ/kgm}]}$$

$$\text{COP}_{\text{Propuesto}} = 4.04$$

El solo hecho de tener operando el equipo de refrigeración dentro de los parámetros que da el fabricante ofrece un aumento importante en la eficiencia térmica del sistema de refrigeración. Además de proporcionar ahorros económicos.

5.3 MEJORAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El trabajo eficiente de los motores eléctricos, unido a una buena instalación eléctrica-mecánica, la instalación de condensadores para corregir el factor de potencia ($\cos \phi$) y la adecuación de los niveles de iluminación según el área de trabajo.

La distribución de la energía eléctrica en Industria Carchi se encuentra en mal estado, lo cual conlleva a un uso irracional de la energía. Esto ha hecho que la empresa tenga importantes pérdidas ya sea por motores quemados por falta de fase, lámparas que se queman por sobrecarga, o exceso de temperatura en los cables que salen de los medidores eléctricos que tiene la empresa.

El factor de potencia actual es bajo, lo cual podría ser motivo de sanciones para la empresa. Y los niveles de iluminación, así como tipo de iluminaria no están dentro de los rangos recomendados, por lo que en este sentido la empresa está desperdiciando energía.

Las medidas para realizar mejoras en el sistema de energía eléctrica de Industria Carchi se pueden agrupar en tres direcciones fundamentales (fig.5.3):

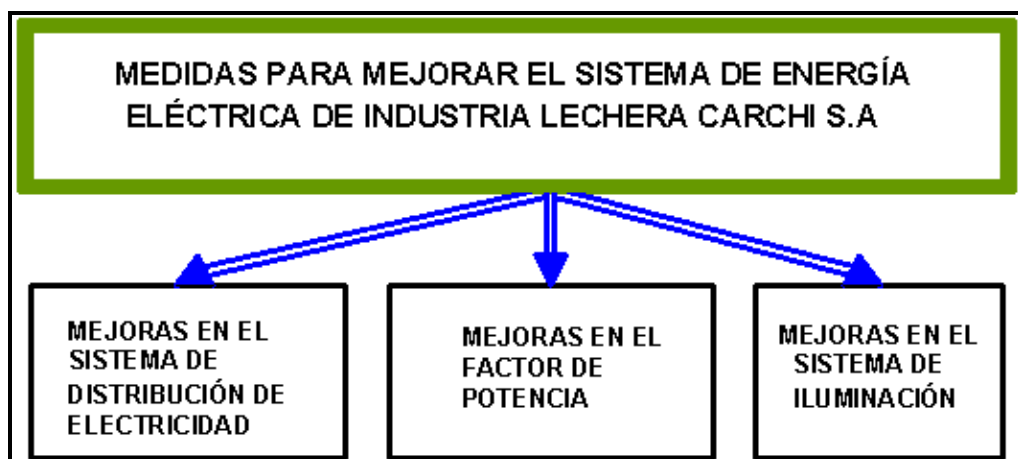


FIG5.3. MEDIDAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ENERGÍA DE INDUSTRIA LECHERA CARCHI.

5.3.1 MEJORAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD

Las instalaciones eléctricas desempeñan un papel de suma importancia, siendo el eslabón entre las plantas generadoras o subestaciones alimentadoras y los centros de consumo. El tener un buen sistema eléctrico garantizará la calidad y buen desempeño de los equipos que necesitan de este importante fluido para su funcionamiento.

Es necesario reconocer que el cálculo completo de las instalaciones es extremadamente largo, complejo e incluso agotado para haber justificado el desarrollo permanente de medios de ayuda práctica: ábacos, cuadro-notas, tablas, normas de cálculo... hasta los programas informáticos que permiten obtener rápidamente resultados precisos y fiables.

Fundamentalmente, una distribución puede realizarse de dos maneras: en serie o en derivación. La distribución serie o a intensidad constante, consiste en conectar todos los receptores uno a continuación del otro, de manera que la intensidad que pasa por uno de ellos, lo hace también a través de todos los demás. El principal inconveniente se tiene en la dependencia que existe entre los receptores, ya que si cualquiera de ellos se interrumpiera, los demás quedarían también fuera de servicio.

La distribución en derivación o a tensión constante, consiste en ir conectando en paralelo los distintos receptores a lo largo de una línea de dos o más conductores. El principal inconveniente de una distribución en derivación es la enorme dificultad que se encuentra ante el deseo de mantener constante la tensión de alimentación, a lo largo del circuito. No obstante, esta distribución es la que se utiliza en la casi totalidad de los casos, minimizando el inconveniente de la caída de tensión, a base de colocar conductores de diámetros adecuados, tanto como lo permita la economía. El gozar de un buen sistema eléctrico garantiza la calidad y buen desempeño de los equipos que necesitan de este importante fluido para su funcionamiento.

5.3.1 Elección de las características de una distribución en derivación

Las características fundamentales de una distribución en derivación son la tensión y el número de conductores utilizados.

La influencia de la tensión en la sección de los conductores está en razón inversa del cuadrado de las tensiones, es decir, cuanto mayor sea la tensión utilizada en la distribución, menor será el peso de conductor empleado. Por otro lado, la comparación entre línea bifásica y trifásica, da la idea de que la alterna trifásica utiliza pesos de conductores notablemente

menores, por lo que éste es uno de los motivos por los que el transporte se hace en trifásica. Para la distribución también puede hacerse el mismo razonamiento, por lo que fácilmente se llega a la conclusión de que las distribuciones actuales se hacen en trifásica y a tensiones que no suelen superar los 380V. Dentro de las distribuciones trifásicas, la más interesante es la estrella a cuatro hilos (3 fases más neutro), la cual permite disponer de una serie de variantes que tendrán más o menos aplicación según sea el caso.

El sistema de distribución en estrella a cuatro hilos es el preferido para una red trifásica, sobre todo para los casos de alumbrado y fuerza motriz. Así pues, la distribución trifásica en estrella resulta ser el sistema mas económico en lo que a gasto de conductor se refiere. Por ejemplo: si comparamos entre trifásica en triángulo y estrella tenemos un ahorro del 76% al emplear trifásica en estrella en lugar de trifásica en triángulo.

Por estos motivos, esta distribución es la que más se utiliza, especialmente en los casos de demanda de grandes potencias, utilizando la distribución monofásica únicamente en aquellos casos en los que la potencia demandada sea relativamente pequeña, como por ejemplo en viviendas.

En el anexo J se presenta la propuesta de una acometida de la instalación eléctrica, los planos eléctricos y la distribución de electricidad en las distintas áreas productivas de Industria Lechera Carchi. En este sentido cabe indicar, que dichos planos fueron elaborados por el estudiante bajo la supervisión del departamento de mantenimiento.

La acometida es la parte de la instalación comprendida entre la red de distribución (conductores procedentes de un centro de transformación) y la caja de entrada principal. En el anexo J (plano NDE-I01) se puede ver las tres fases de alta (13.8 kV) mas tierra que llegan de Emelnorte, las cuales alimentan a un transformador. Una vez transformada la tensión a 220 V, estos conductores conectan a una caja de protección general (Breaker general) la cual se constituye en un dispositivo de seguridad. De la protección general en el caso manual, saldrá a un conmutador, el mismo que da la opción del uso del generador. Si se proyecta a encendido automático van dos contadores con un programa de PLC. Adicionalmente a estos para uso de los dos sistemas se puede colocar un supervisor eléctrico el mismo que cumple las funciones a través de un contactor de parar el servicio en el caso de fallas como variaciones de voltaje o pérdida de fase y medición de cada una de las fases en forma visual y actuar automáticamente.

Todo lo anterior ira acompañado de un juego de barras donde llega la energía para su posterior distribución a las distintas áreas de ILCSA, a través de un breaker de capacidades requeridas por cada lugar a servir.

En este punto es importante recalcar que tanto la acometida como los planos de distribución eléctrica propuestos fueron realizados con la colaboración y supervisión del departamento de mantenimiento de ILCSA.

5.3.1.2 Selección del conductor para los receptores de energía eléctrica

En principio, es conveniente aclarar que seleccionar un conductor, significa dimensionarlo, es decir, determinar la sección del mismo. En el caso más general, para el dimensionamiento de los conductores eléctricos se ha considerado las etapas que se presentan a continuación:

La necesidad a utilizar para definir la tensión nominal del cable: La tensión nominal es la que define el cable y debe ser apropiada para las condiciones de operación de la red en la que el mismo va a ser instalado.

Determinar la corriente de proyecto o de servicio: Es la corriente máxima permanente considerando las potencias nominales de las cargas aplicadas.

La capacidad de la corriente de servicio viene dada por la potencia asociada a la línea, en función de las características de los equipos conectados. El análisis exacto de todas las utilidades y sobre todo el conocimiento real de la potencias de cada receptor no son siempre evidentes, por lo que en la práctica suele ser muy necesario considerar coeficientes de seguridad globales por exceso para evitar subdimensionar la instalación y las protecciones de los receptores. Por lo anterior se debe considerar los siguientes aspectos²¹:

- Incrementar en un 80% (x1.8) la potencia considerada para las luminarias fluorescentes compensadas y en un 150% (x2.5) la de las luminarias no compensadas.
- Aplicar un incremento del 150% para los motores de hasta 4 kW (potencia considera x 2.5). Para los motores de 4 a 50 kW este factor será de 2.
- Tomar las potencias nominales para la iluminación por incandescencia incluidas las lámparas halógenas y la calefacción.

Receptor	Homogenizador.
Área	Pasteurización
Potencia activa	16160 W. (Dato tomado de la placa del motor).
Corriente	70 amperios. (Dato medido con un amperímetro).
Tensión	205 voltios (Tensión entre fases)..

²¹ Comité de Electrotecnia Internacional, Manual de Instalaciones Eléctricas Industriales.

Factor de potencia 0.65 (Dato calculado, anexo D).

La corriente de servicio se obtiene siguiendo las sugerencias del apartado anterior. Puesto que el homogenizador es accionado por un motor eléctrico cuya potencia esta entre 4 A 50 kW (16.16 kW), la potencia de éste será multiplicada por 2. La expresión para calcular la corriente de servicio queda:

$$I_s = 2 * I \quad (5-2)$$

$$I_s = 2 * 70A$$

$$I_s = 140 A.$$

Capacidad de conducción: Las tablas de especificaciones técnicas de los conductores, señalan el máximo amperaje (capacidad de conducción) que ellos soportan. Si se los carga más, se sobrepasará la máxima temperatura de servicio y se dañará el aislamiento. Este envejecerá mas pronto, se tornará rígido y quebradizo y dependiendo del grado de abuso, se derretirá, provocando peligrosos corto-circuitos. Al seleccionar el conductor con la corriente de servicio y no con la corriente de trabajo, se evitará ésta situación anómala.

Por lo tanto, el conductor requerido para el motor del Homogenizador de Industria Carchi es un AWG 4. Este conductor tiene una sección de 21.15 mm², una capacidad de corriente de 140 amperios y en el mercado nacional el rollo de 100 metros tiene un valor de \$388.53, según se muestra en la tablas de Electrocables (Cablec) del anexo E.

En el anexo E se indica las secciones de los conductores para los diferentes consumidores de electricidad de las distintas áreas productivas de la empresa. El procedimiento que se ha seguido en la selección del conductor es el explicado anteriormente.

5.3.1.3 Selección del contactor electromagnético para los receptores de energía eléctrica

Un contactor electromagnético es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada".

El tamaño del contactor depende de la intensidad que es capaz de establecer, soportar e interrumpir, así como del número de contactos de que dispone (cuatro normalmente). El tamaño del contactor también depende de la tensión máxima de trabajo que es capaz de

soportar. Así para la selección del contactor es necesario conocer las siguientes características del receptor:

La tensión nominal de funcionamiento en voltios

Es la que se aplica a la bobina de accionamiento, la cual genera un campo magnético lo suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.

La corriente de servicio que consume en amperios

Es la corriente que consume un receptor de forma permanente. La naturaleza y la utilización del receptor, es decir, su categoría de servicio²², así como las aplicaciones de los contactores en función de su categoría se exponen en la tabla 5.2:

TABLA 5.2.

CATEGORIA DE SERVICIO PARA PROTECCIÓN DE MOTORES			
CATEGORÍA	APLICACIÓN	Cos φ	I_c/I_E
AC1	Cargas puramente resistivas o débilmente inductivas.	0.95	1
AC2	Motores asíncronos para mezcladoras, centrífugas. Cargas inductivas. Arranque e inversión de marcha de motores de anillos rozantes.	0.65 a 0.94	2.5
AC3	Motores asíncronos para motores de aire acondicionado, compresores ventiladores. Cargas fuertemente inductivas. Arranque y desconexión de motores de jaula.	0.35 a 0.64	1
AC4	Motores asíncronos para grúas, ascensores, etc. Motores de jaula: Arranque, marcha a pulsos y frenado por inversión.	Menor a 0.35	6

FUENTE: COMITÉ DE ELECTROTECNIA INTERNACIONAL

La corriente cortada

Corriente máxima que es capaz de cortar un contactor sin destruirse por sobrecalentamiento. Esta depende del tipo de categoría de servicio y se obtiene a partir de la corriente de servicio. Con esta corriente en amperios se obtiene el calibre²³ del contactor.

²² Comité Electrotécnico Internacional (C.E.I)

²³ Corriente que es capaz de soportar el contactor durante ocho horas seguidas sin que se sobrecaliente.

En la anexo E se presenta los contactores que se deberían instalar en cada máquina de la empresa. El cálculo de lo desarrolló de la siguiente manera:

Receptor	Homogenizador.	
Área	Pasteurización	
Potencia activa	16160 Watts	(Dato de placa).
Corriente	70 amperios.	(Dato obtenido por medición).
Tensión	205 voltios	(Tensión entre fases).
Factor de potencia	0.65	(Calculado en el anexo D)

Coeficiente de servicio AC2: Este coeficiente se lo obtiene de la tabla 5.1, ya que el motor del homogenizador es una carga inductiva con un factor de potencia de 0,65.

Debido a que el homogenizador tiene una categoría AC2 la relación entre la corriente de servicio y la corta da será igual a 2.5.

$$\frac{I_C}{I_E} = 2.5 \Rightarrow I_C = 2.5 I_E \quad (5-3)$$

$$I_C = 2.5 * 70 A$$

$$I_C = 175 A.$$

Por lo tanto, la capacidad teórica del contactor a utilizar será de 175 amperios. En este sentido se recomienda a la empresa utilizar contactores con norma UL. La cual establece que la capacidad del contactor a utilizar debe ser tres veces la capacidad teórica. Esto permitirá a los contactores gozar de una vida útil más larga, que si selecciona uno de 175 amperios. Por lo tanto el tipo de contactor a utilizar es el GMC-150.

Las tablas utilizadas para seleccionar los conductores y contactores de cada receptor de energía eléctrica se encuentran en el anexo E.

5.3.2 MEJORA EN EL FACTOR DE POTENCIA

La manera para mejorar el factor de potencia es mediante una batería de condensadores. Esta es una forma de ahorrar en gastos de energía eléctrica.

La batería de condensadores debe ser instalada en triángulo a la línea de distribución para lograr corregir el factor de potencia a un valor de $\cos \varphi_T' = 0.97$, las baterías de condensadores son el medio mas económico para reducir el factor de potencia y mejorar el servicio interno en un 20% en los equipos eléctricos. Los condensadores se pueden fabricar en configuraciones distintas y son muy sensibles a las armónicas en la red.

Por lo tanto, la potencia reactiva de la batería de condensadores (Q_C) se la puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_C = P_T * (\tan \varphi_T - \tan \varphi_T') \quad (5-4)$$

$$\cos \varphi_T = 0.71 \Rightarrow \cos^{-1} 0.71 = 44.77^\circ$$

$$\cos \varphi_T = 0.97 \Rightarrow \cos^{-1} 0.97 = 14.07^\circ$$

$$Q_C = 217.09 \text{ kVA} * (\tan(44.77) - \tan(14.07))$$

$$Q_C = 160.95 \text{ kVAr}$$

Debido a que en la empresa existe una batería de condensadores de 44 kVAr. La potencia reactiva del condensador será de 116.95 kVAr. Por lo tanto, la potencia reactiva de cada una de las fases de la batería de condensadores (Q_C') es la tercera parte de la total:

$$Q_C' = \frac{Q_C}{3} \quad (5-5)$$

$$Q_C' = \frac{116.95 \text{ kVAr}}{3}$$

$$Q_C' = 38.98 \text{ kVAr}$$

La corriente de fase de cada condensador se la calcula con la siguiente expresión:

$$I_{FC} = \frac{Q_C'}{V_C} \quad (5-6)$$

$$I_{FC} = \frac{38981.88 \text{ VA}}{220 \text{ V}}$$

$$I_{FC} = 177.19 \text{ A}$$

Con estos datos se determina la reactancia (X_C) y la capacidad (C) en faradios del condensador mediante las expresiones 5-7 y 5-8 respectivamente:

$$X_C = \frac{V_C}{I_{FC}} \quad (5-7)$$

$$X_C = \frac{220V}{177.19A} = 1.242 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi * f * X_C} \quad (5-8)$$

$$C_C = \frac{1}{2\pi * 60 * 1.242}$$

$$C_C = 2.136 \times 10^{-3} F \Rightarrow C_C = 2136.4 \mu F$$

Por consiguiente, la batería trifásica de condensadores para corregir el factor de potencia hasta 0.97 debe tener las siguientes características técnicas:

$$\text{Características Batería Condensadores} \left\{ \begin{array}{l} \text{Capacidad} \rightarrow 2136.4 \mu F \\ \text{Potencia Reactiva} \rightarrow 116.95 \text{ kVA} \end{array} \right\} \text{ a } 220V$$

Esta batería conjuntamente con la que ya existe en planta, conectada en triángulo a la línea general que alimenta a la planta, aportará la potencia reactiva que actualmente suministra Empresa Eléctrica del Norte (Emelnorte) y se eliminará una posible penalización por el bajo factor de potencia que, actualmente tiene la empresa.

5.3.3 MEJORAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El primer principio de ahorro energético en iluminación consiste en ajustar los niveles de iluminación y los coeficientes de uniformidad a las necesidades reales de cada zona. Además deben mantenerse apagadas las luces en los momentos y lugares que no sean necesarios. Con esto se lograra reducir ostensiblemente la energía consumida por efecto de iluminación.

En el capítulo 3 (apartado 3.4.2.2), se había llegado a la conclusión que el 76.7% de las luminarias utilizadas en las áreas de producción de Industria Lechera Carchi eran del tipo incandescente, este tipo de iluminación a más de ser ineficiente (6-20 lúmenes/Watt) provoca un alto consumo de electricidad, ya que casi un 10% de la energía eléctrica que consume es convertida en luz mientras que el resto se disipa como calor.

La primera recomendación de mejora en este sentido es cambiar este tipo de luminarias por otras mas eficientes como lo son las compactas fluorescentes. Una lámpara compacta fluorescente, tiene una eficiencia entre 40-60 lúmenes/Watt, es decir, produce por Watt

aproximadamente cuatro veces la luz de una incandescente y además dura alrededor de 10000 h, 10 veces la duración de una incandescente y se conecta en el mismo receptáculo del foco normal. Así, a pesar de su elevado costo inicial, estas lámparas reducen los costos de iluminación al disminuir de manera considerable el consumo de electricidad.

La segunda recomendación que se hará en el área de iluminación será seleccionar un nivel de iluminación adecuado. Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general se distinguen entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes. En el primer caso estarían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lux. En el segundo caso se tienen las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lux. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lux) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local. En la tabla 5.3 se muestra los niveles de iluminación recomendados:

TABLA5.3.

ILUMINACION MEDIA DE LOCALES EN LUX			
TAREAS Y CLASES DE LOCAL	ILUMINACIÓN "E" MEDIA EN SERVICIO [LUX]		
	MÍNIMO	RECOMENDADO	ÓPTIMO
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos.	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos.	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios.	300	400	500
Bibliotecas, salas d estudio.	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, sala de procesos de datos, salas de conferencia.	450	500	750
Grandes oficinas salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
grande superficies, supermercados, salones de muestras.	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados.	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales.	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales.	1000	1500	2000
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo.	100	150	200

Cuartos de estar.	200	300	500
Cocina.	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio.	300	500	750
FUENTE: INTERNET			

Debido a que la producción láctea no requiere de un nivel de iluminación especial o normal, de la tabla anterior se escogerá, una iluminación mínima de 200 lux que es lo recomendable para trabajos que requieren una visión limitados en la industria, estos para las áreas de producción. En lo referente al cuarto de máquinas, bodegas y almacenes se escogerá una iluminación de 50 lux que es lo recomendable y por que se caracterizan por ser zonas de poco uso en iluminación.

La tercera recomendación que se propondrá en el área de iluminación será la de escoger el número correcto de lámparas para cada área de trabajo, con ayuda de la fórmula para el cálculo de la iluminación media²⁴, citada en el capítulo 4 (apartado 4.2.2), cuya expresión es:

$$E = \frac{N * Lm * Cu * LLF}{S}$$

A continuación se da un ejemplo de cálculo para el área de yogurt de Industria Carchi, y en el anexo E se presenta los resultados para el resto de lugares de trabajo de la empresa.


Área:	Yogurt	
Longitud:	L= 12.18 m	(Fuente plano código PPEAE-ILCSA2)
Ancho:	A= 6.25 m	(Fuente plano código PPEAE-ILCSA2)
Alto:	H= 4 m	(Fuente ILCSA).
Superficie:	S= 12.18*6.25 = 76.125 m ² .	
Reflectancia de techo:	ρ_{cc} = 70%	
Reflectancia de paredes:	ρ_w = 30%	
Factor de depreciación:	LLF= 0.8.	
Iluminación media del local:	200 lux.	
Flujo luminosa lámpara:	Lm= 2600 lúmenes. (Lámpara de 26 W)	
Factor de forma del local:		

²⁴ Instituto Nacional de la Energía (INE), Quito.

$$RCR = \frac{5 * 4m * (12.18 + 6.25m)}{(7.99 * 4.10)} = 4.84$$

El coeficiente de utilización "Cu" se obtiene entrando en la tabla siguiente, con los siguientes valores:

$$\begin{cases} RCR = 4.84 \\ \rho_{cc} = 70\% \\ \rho_w = 30\% \end{cases} \Rightarrow Cu = 0.70$$

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)													
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes							
		0.8		0.7		0.5		0.3		0					
		0.5		0.3		0.1		0.5		0.3		0.1		0	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30		
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37		
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41		
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45		
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48		
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52		
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54		
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56			
4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58			
$D_{max} = 1.0 H_m$ f_m .70 .75 .80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59		

Por lo tanto el número de lámparas para el área de Yogurt de Industria Carchi será igual a:

$$N = \frac{E * S}{Lm * Cu * LLF} \quad (5-9)$$

$$N = \frac{200 \text{ lux} * 76.125 \text{ m}^2}{2600 \text{ lúmenes} * 0.70 * 0.8}$$

$$N = 10.5 \text{ Focos Compactos}$$

El número de lámparas que debe ir en el área de yogurt acorde a un nivel adecuado de iluminación es de 11 focos fluorescentes compactos (focos ahorradores).

5.4 MEJORAS EN EL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE VAPOR

Existen diferentes medidas para incrementar y mantener la eficiencia energética de una caldera en niveles óptimos, que permiten lograr ahorros, reducir costos operativos y las emisiones de gases al ambiente.

Existen medidas que son parte del mantenimiento preventivo y la operación normal de las calderas (lo que se denomina “buenas prácticas de gestión o good housekeeping”), y el costo de su implementación es parte del costo operativo de las calderas; asimismo, si no se implementan o se hacen deficientemente ocurre que las calderas trabajan con eficiencias bajas o simplemente no pueden trabajar ya sea por mal funcionamiento de algún componente o por cuestiones de seguridad (riesgos).

5.4.1 MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE COMBUSTION Y EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR

5.4.1.1 Cálculo nueva eficiencia de combustión “ $E_{f_{comb}}$ ”

Para mejorar la eficiencia de combustión lo primero a realizar es aumentar el porcentaje de CO_2 y disminuir en lo más que se puede la temperatura de los gases de combustión. Lo primero se consigue regulando la entrada de aire a la caldera, lo cual es relativamente sencillo y requiere poca inversión.

Lo segundo depende del mantenimiento que se da a la caldera, ya que bien puede haber acumulación de incrustaciones en le lado de agua o acumulación de carbón en el lado de fuego, este último sobre todo provoca altas temperaturas en la chimenea, lo cual esta sucediendo en la caldera. Ahora este mantenimiento es costoso, porque se tiene que hacerse un ataque químico en la caldera lo cual debe realizar personal especializado.

En el anexo B (código RC3) se determinó que la temperatura de gases era de 379 °C, lo cual se encuentra fuera del rango permitido en calderas (De 149 @ 316 °C). Haciendo la limpieza interna en la caldera se lograría rebajar esta temperatura hasta 300 °C.

Aumentado el porcentaje de CO₂ al 13 %, se consigue disminuir el exceso de aire con el que está trabajando la caldera (46% actualmente).

Al aumentar el porcentaje de CO₂ y disminuir la temperatura de chimenea la eficiencia de combustión sería:

$$T_{\text{netachimenea}} = T_{\text{gas}} - T_{\text{amb.}}$$

$$T_{\text{netachimenea}} = 572 - 66.2$$

$$T_{\text{netachimenea}} = 505.8 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$\% \text{CO}_2 = 13\%$$

Con estos dos valores se ingresa en la regleta de bacharach del anexo F, por lo que, la eficiencia de combustión es:

% Ef _c	T _{netachimenea} [°F]	
81.25	500	
x	505.8	
79.75	550	Ef _{comb @ 558°F} = 81.08%

Como se puede ver de lo anterior al disminuir la temperatura de gases y aumentar el porcentaje de CO₂, se ha conseguido mejorar notablemente la eficiencia de combustión y disminuir el porcentaje de exceso de aire (figura 5.4), lo cual representa una disminución de consumo de combustible y por lo tanto un ahorro económico para la empresa. En el próximo capítulo se analizara el beneficio económico del que es objeto ILCSA.

5.4.1.2 Cálculo nueva eficiencia del generador de vapor "η_{CALDERA}"

Se sabe que la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la cantidad de energía ganada por el vapor y la energía calorificada entregada por el combustible. La cantidad de energía ganada por el vapor es el flujo de vapor multiplicado por la entalpía de vaporización.

Pérdidas por chimenea:

$$\%P_{\text{chimenea}} = 100 - E_f_c$$

$$\%P_{\text{chimenea}} = 100 - 81.08$$

$$\%P_{\text{chimenea}} = 18.92\%$$

Como se puede ver el porcentaje de pérdida por chimenea propuesto (18.9%) es menor al actual (27.7%), lo cual constituye un ahorro energético y económico.

Pérdidas por purga:

$$\frac{X_{\text{purga}}}{X_{\text{vapor}}} = \frac{100}{2900 - 100} \Rightarrow \frac{X_{\text{purga}}}{X_{\text{vapor}}} = 0.03571 \frac{\text{Kg}_{\text{purga}}}{\text{Kg}_{\text{vapor}}}$$

$$\%P_{\text{purga}} = 0.0768 * \eta_{\text{caldera}}$$

La tasa de purga se mantiene constante debido, a que las condiciones de agua se encuentran dentro de un rango recomendable, salvo mejor criterio del especialista.

Pérdidas por paredes de la caldera:

$$\%P_{\text{pared}} = \frac{Q_{\text{total pared}}}{m_{\text{comb.}} * PCS_{\text{comb.}}} * 100$$

$$\%P_{\text{pared}} = \frac{10.22 \text{ kW}}{7.86 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 45.87 \frac{\text{kWh}}{\text{gal}}} * 100$$

$$\%P_{\text{pared}} = 2.83\%$$

Las pérdidas de energía por las paredes de la caldera también se mantienen constantes debido a que no es muy probable por parte de la empresa que se mejore el refractario de la caldera que es donde se tuvo temperaturas altas y que pudiera estar en mal estado.

Por lo tanto la eficiencia propuesta de la caldera sería:

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - \sum \text{Perdidas}$$

$$\eta_{\text{caldera}} = 100 - 18.92 - 0.0768 * \eta_{\text{caldera}} - 2.83$$

$$\eta_{\text{caldera}} + 0.0768 * \eta_{\text{caldera}} = 69.49$$

$$1.0768 \eta_{\text{caldera}} = 78.25$$

$$\eta_{\text{Propuesto Caldera}} = \eta_2 = 72.67\%$$

Al mejorar la eficiencia de combustión y por ende la eficiencia del generador de vapor se obtiene una producción de vapor más alta con un menor consumo de combustible lo que se traduce tanto en un ahorro energético como económico. En el capítulo siguiente se analizara el beneficio económico del que es objeto Industria Carchi, al realizar las mejoras propuestas en la eficiencia de la caldera.

5.4.2 REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE

El exceso de aire constituye una de las variables operacionales más importantes en los generadores de vapor. Este, se hace evidente a partir de la presencia de oxígeno en los gases de salida. Este oxígeno es referido comúnmente como O₂ en exceso. Por lo tanto, a medida que el exceso de aire aumenta, se incrementa el contenido de O₂ en los gases de salida.

El exceso de oxígeno en las calderas industriales varía generalmente desde 1 hasta el 30% dependiendo del diseño, tipo de combustible, ajuste de la combustión y carga de trabajo. La operación con mínimo exceso de aire es la deseada para máxima eficiencia y mínima emisiones.

Un alto valor mínimo de O₂ puede indicar un mal funcionamiento del sistema de combustión, pero hay que tomar en consideración que los diferentes diseños de quemadores requieren diferentes excesos de aire para su operación a máxima eficiencia. En la tabla 5.4 se muestran valores típicos para el exceso de oxígeno mínimo.

TABLA5.4.

VALORES TÍPICOS DE MÍNIMO EXCESO DE O ₂ A CARGA NOMINAL	
TIPO DE COMBUSTIBLE	EXCESO DE O ₂ MÍNIMO [%]
Gas natural	0.5 – 3.0
Fuel oil	2.0 – 4.0
Carbón pulverizado	3.0 – 6.0
Carbón sobre parrilla	4.0 – 8.0

FUENTE: CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE, ANIBAL BORROTO.

Para estimar el nuevo porcentaje de exceso de aire con el aumento de CO₂ se puede proceder de dos formas: 1) Gráficamente 2) Analíticamente.

Para el método gráfico, se utilizara la figura 5.4 en la que se puede observar que para un valor propuesto del 13% de CO₂, el valor de O₂ es de 4% aproximadamente.

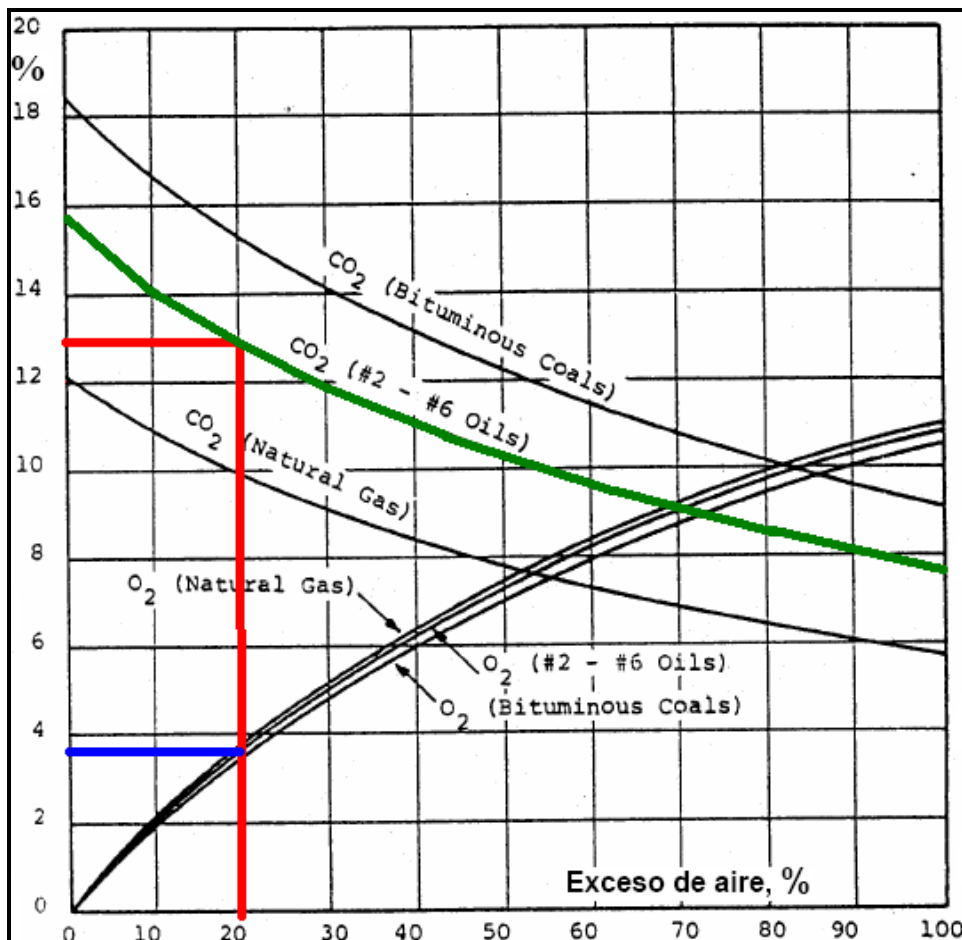


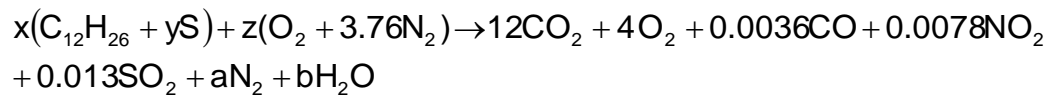
FIG5.4. RELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE CO₂ Y O₂ Y EXCESO DE AIRE

Ingresando horizontalmente en la grafica con el porcentaje de CO₂ e intersecando la curva CO₂ (#2 - #6 oils) y luego bajando verticalmente se obtiene el porcentaje de exceso de aire (20%). Con estos rangos la caldera estaría operando según lo recomendado²⁵.

Para el método analítico, se utilizará las ecuaciones de combustión descritas en el capítulo 4, con las siguientes suposiciones:

- Por conveniencia se considera al combustible utilizado en la caldera como un solo hidrocarburo (Dodecano C₁₂H₂₆²⁶).
- El porcentaje de CO₂ y O₂ son 13 y 4% respectivamente.
- Los porcentajes de CO, NO₂ y SO₂ se mantienen constantes por ser cantidades pequeñas.

Bajo estas condiciones la ecuación real del proceso de combustión quedaría expresada de la manera siguiente:



Los coeficientes desconocidos en la reacción química anterior se los encuentra por medio del balance de masa de los diversos elementos:

$$\text{C: } 12x = 12 + 0.0036$$

$$\text{H}_2: 26x = 2b$$

$$\text{S: } xy = 0.013$$

$$\text{O}_2: 2z = 2(13) + 2(4) + 0.0036 + 2(0.0078) + 2(0.013) + b$$

$$\text{N}_2: 2(3.76z) = 0.0078 + 2a$$

Ordenando estas ecuaciones se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones lineal:

²⁵ Universidad de Cien Fuegos, Centro de Estudios de Energía Y Medio Ambiente, Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor, Aníbal Borroto Nordelo, La Habana-Cuba, 2002.

²⁶ Termodinámica, Yunus Cengel, Quinta Edición, página 752.

$$\begin{cases} 12x = 12.0036 \\ b - 13x = 0 \\ xy = 0.013 \\ b - 2z = -34.045 \\ a - 3.76z = -0.0039 \end{cases}$$

Resolviendo el sistema anterior se obtiene la siguiente solución:

$$\begin{cases} x = 1.084 \\ y = 0.0119 \\ z = 24.07 \\ a = 90.49 \\ b = 14.09 \end{cases}$$

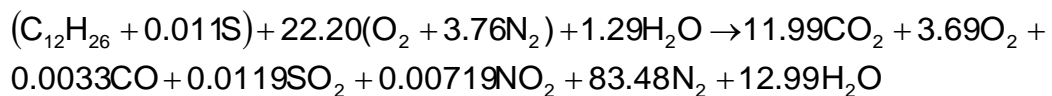
El número de moles de la humedad en el aire (η_{H_2O}) se calcula así:

$$\eta_{H_2O} = \frac{P_{H_2O}(\eta_{aire\ seco})}{(P_0 - P_{H_2O})}$$

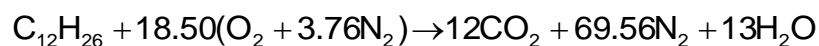
$$\eta_{H_2O} = \frac{0.9956(20.10 * 4.76)}{(68.89 - 0.9956)}$$

$$\eta_{H_2O} = 1.403 \text{ kmol}$$

Entonces, la ecuación balanceada real del proceso de combustión, para 100 Kmol de combustible y tomando en consideración la humedad del aire resulta:



La ecuación estequiométrica para el diesel es la siguiente:



Para encontrar el porcentaje de aire utilizado, se necesita conocer la cantidad de aire teórica y la cantidad de aire real de la caldera, así:

$$\% \text{de Aire Teórico} = \frac{m_{\text{aire real}}}{m_{\text{aire teórico}}}$$

$$\% \text{de Aire Teórico} = \frac{(22.20 * 4.76) + 1.29 \text{ kmol}}{18.50 * 4.76 \text{ kmol}}$$

$$\% \text{de Aire Teórico} = 1.2146 \quad \Rightarrow \quad \% \text{de Aire} = 121.46\%$$

El resultado obtenido analíticamente (utilizando las ecuaciones de combustión) es similar al obtenido gráficamente. En ellos se nota claramente que cuando se aumenta el porcentaje de CO₂, mediante la disminución de entrada de aire al generador se disminuye también el exceso de aire con el cual trabaja la caldera. Los beneficios económicos al trabajar la caldera con un mínimo exceso de aire se ven reflejados en el mejoramiento de la eficiencia del generador de vapor y en el mejoramiento de la eficiencia de combustión.

5.4.3 PRECALENTAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

Aumentar la temperatura del agua de alimentación (30 °C actualmente), mediante el aumento de la tasa de retorno del condensado. Con un 50% de recirculación, es factible incrementar la temperatura del agua de alimentación y alcanzar unos 50 °C. En la práctica esta temperatura puede ser mayor.

En este sentido cabe destacar que, la recuperación del condensado posibilita obtener ahorros de energía térmica, así como por concepto de suministro y tratamiento de agua. El condensado que no retorna a la caldera debe ser compensado por agua de reposición, la cual está fría y debe ser tratada. La no recuperación de los condensados incrementa los costos en combustible, en consumo y tratamiento de agua para la caldera y los de disposición de aguas residuales.

Los sistemas de condensado están compuestos por un conjunto de tuberías de recolección de los drenajes de las trampas de vapor, las que descargan a un tanque receptor equipado con una bomba o un sistema de tuberías para transportar el condensado hasta el tanque de agua de alimentación de las calderas. Un problema que se presenta con frecuencia es la insuficiente

capacidad de este sistema, ocasionado por no considerar el flujo de vapor flash conjuntamente con el condensado ni el efecto de las fallas en las trampas de vapor sobre el flujo de vapor por estas tuberías de retorno del condensado.

El sistema de recuperación de condensado debe permitir el monitoreo y la no recuperación del condensado contaminado en los equipos de proceso, para evitar la alteración del régimen químico del agua en la caldera y los daños asociados a ello.

5.4.4 REDUCCIÓN EN LA PRESIÓN DE TRABAJO DE LA CALDERA

Del trabajo de campo cumplido en la empresa, se observa que la caldera trabaja como nivel de presión máxima de 85 psig, que corresponde a una temperatura de saturación del vapor de 162.3 °C.

Sin embargo el nivel de temperatura máximo al interior no sobre pasa los 100 °C. Por otro lado, se usa al interior en planta, reductoras de presión previo al uso de vapor en el intercambiador de calor del pasteurizador. Por lo tanto, la presión de generación de vapor se puede reducir a valores que no afecten la celeridad de los procesos.

Si bien la empresa puede iniciar un proceso de ajuste de la presión de generación, hasta alcanzar el óptimo; para efecto del cálculo se sugiere que la presión de generación puede bajar a 65 psig. (con temperatura de saturación de 153 °C, aún en estas condiciones, la empresa requiere reducir la presión para su uso en los procesos). Por otro lado, el vapor a 65 psig, tiene mayor contenido de calor latente (h_{fg} que es que se usa en los procesos de transferencia sin aprovechamiento del calor sensible, como ocurre en ILCSA.)

Todo lo anteriormente explicado se puede apreciar en una grafica t-s, el cual se indica en la figura 5.5:

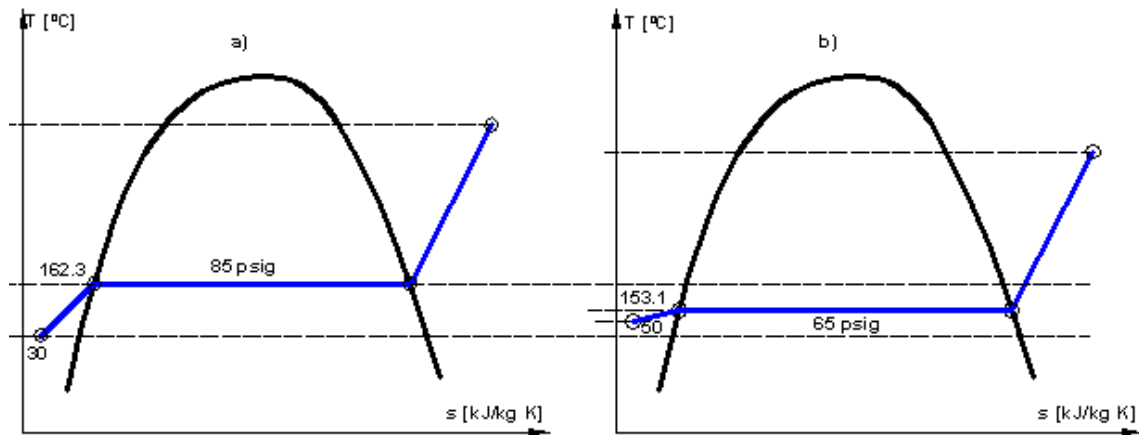


FIG5.5 DIAGRAMS T-S DE LA CALDERA ACTUAL Y PROPUESTO

Para los datos que se muestran en la parte del B del gráfico anterior las propiedades del agua y vapor de la caldera sería:

$h_{aa} = h_f @ 50 \text{ °C} = 209.34 \text{ kJ/kg}$ → Entalpía del agua de alimentación de la caldera.

$h_g @ 65 \text{ psig} = 2757.56 \text{ kJ/kg}$ → Entalpía del vapor generado en la caldera.

Una vez que se ha calculado la eficiencia propuesta de la caldera y realizadas las mejoras en la temperatura del agua de alimentación y en la reducción de la presión del sistema, se puede estimar la nueva masa de vapor que produciría la caldera:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{\eta_{\text{caldera}} * \dot{m}_{\text{comb.}} * \text{PCS}_{\text{comb.}}}{(h_{g@85\text{psig}} - h_{aa})}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{0.7267 * 7.86 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 165221.48 \frac{\text{kJ}}{\text{gal}}}{(2757,56 - 167.53) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 364.37 [\text{kg}_{\text{vapor}} / \text{h}]$$

5.4.5 MEJORAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

En el subcapítulo 4.3.3 se había establecido que el sistema de distribución de vapor de Industria Lechera Carchi, presenta tanto problemas de líneas de suministro de vapor sin aislamiento térmico como fugas de vapor. Llegando a determinarse que por concepto de fugas de vapor la empresa perdía al año unos 3453 dólares.

5.4.5.1 Reducción de fugas de vapor

Las fugas en cuestión que producen estas pérdidas están localizadas una en el Mcdonell, otra en la válvula de reducción de presión del intercambiador de calor del pasteurizador. Estas fugas son producidas por empaques en mal estado, por lo que la inversión en este sentido es baja, pero los ahorros que se tienen son significativos. Este ahorro represente unos 531 dólares al año, frente a una inversión de unos 5 dólares que pueden costar los empaques.

En el caso de los tanques de almacenamiento, se utiliza vapor para la desinfección de los mismos durante 10 minutos. Esto producía una pérdida de 312.61 Kg_{vapor}/día y unos 2921 dólares al año. La recomendación en este sentido es acortar el tiempo de desinfección de los tanques hasta la mitad (5 min.). El nuevo flujo de vapor sería:

$$D_{\text{vapor}} = 2(0.4(19.05)^2 \sqrt{5.98(5.98 + 1)})$$

$$D_{\text{vapor}} = 1875.68 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{h}]$$

$$D_{\text{vapor}} = 156.31 \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{dia}] \quad \text{En 5min. de funcionamiento}$$

Por lo tanto el ahorro que se obtendría en este sentido sería de 1460 dólares al año, frente a una inversión nula que se debe realizar.

5.4.5.2 Mejoras en el aislamiento de las líneas de suministro de vapor

Todas las líneas de suministro de vapor de Industria Carchi se encuentran sin aislante térmico. Esto a más de producir pérdidas de energía produce también pérdidas económicas para la empresa. La recomendación obvia en este sentido es aislar dichas líneas para minimizar el efecto de la transferencia de calor hacia el medio.

En este sentido se estima conveniente utilizar lana de vidrio como aislante. Este tipo de aislante en la industria se constituye en una de las mejores opciones debido a su conformación homogénea y baja densidad lo que le da un bajo coeficiente de conductividad térmica y además porque el retorno se produce en corto tiempo.

Para determinar el espesor del aislante, se utilizará el concepto de radio crítico. El radio crítico es el espesor mínimo que minimiza las pérdidas de calor por falta de aislante. Este valor se lo encuentra con la siguiente expresión:

$$r_{cr} = \frac{k_{\text{aislante}}}{h_{\text{exterior}}} \quad (5-10)$$

$k_v=0.036$ W/ m K → Coeficiente de conductividad térmica de la lana de vidrio.
 $h_{\alpha 2}=2.144$ W/ m² K → Valor típico del coeficiente de resistencia de calor por convección libre del aire.

Por lo tanto el radio crítico tendrá un valor de:

$$r_{cr} = \frac{0.036}{2.144} = 0.01679 \text{ m} = 16.79 \text{ mm}$$

Como se puede ver el valor mínimo del espesor deberá ser de 17 mm, pero debido a que en el mercado no se encuentra este espesor, habrá que escoger uno espesor comercial superior al valor calculado. Por lo tanto el espesor comercialmente disponible es de 1" (25.4 mm), lo cual es superior al radio crítico.

En el anexo G se presenta los datos y cálculos de las pérdidas de calor de todo el sistema de distribución de vapor, con lana de vidrio de 1" de espesor en todas las líneas de suministro de vapor.

$$Q_{\text{Perdido aislamiento total}} = 3.70 \text{ kW}$$

Para determinar que porcentaje representa este calor, con respecto al calor transmitido al

vapor, se emplea la siguiente expresión:

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = \frac{Q_{\text{Perdido por aislamiemb}}}{\dot{m}_{\text{vapor}} (h_{g@85\text{psig}} - h_{aa})} * 100$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = \left(\frac{3.70 \text{ kW}}{339.25 [\text{kg/h}] (2595.94 - 125.74) [\text{kJ/kg}]} \right) * 100$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = \left(1.403 \times 10^{-5} \frac{\text{kWh}}{\text{kJ}} * \frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \right) * 100$$

$$\% \text{Perdidas En redde vapor} = 1.60\%$$

5.5 MEJORAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

5.5.1 UBICACIÓN DE LOS COMPRESORES

De las inspecciones realizadas se constato que la ubicación de la toma de aire de los compresores era inapropiada debido a que la temperatura del cuarto de compresores es de aproximadamente 26 °C, provocando de esta forma un trabajo ineficiente del motor del compresor y un aumento del 3% en la potencia por cada 10 °C de aumento en la temperatura de succión del aire.

La recomendación es este sentido es reubicar los compresores en un lugar donde no se encierre el calor producido por los compresores y donde el aire aspirado esté limpio y frío (a temperatura ambiente). En el capítulo 3 (apartado 3.4.4) se estimo que el costo al año en aire comprimido era de 3639 USD. Si se reubicara los compresores este valor se reduciría a 3519 usd, obteniendo un ahorro de 120 usd al año.

Por lo tanto, la reubicación de los compresores no sólo traerá beneficios económicos, sino también, un mejor rendimiento del compresor. Para lo cual se debería tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El aire debe aspirarse preferente del exterior, en cuyo caso la tubería debe estar a un mínimo de 2m sobre el suelo, equipada con un sombrero (o paraguas) de protección y con un filtro de aire.
- La tubería de aspiración debe estar tan recta y corta como sea posible, evitando las longitudes que dan lugar a efectos de resonancia. El tamaño de la tubería no debe ser

menor que el de la conexión del compresor. En caso de ser inevitablemente larga, debe aumentarse su tamaño.

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.

En el plano DEMPI1 (anexo J) se puede ver la nueva ubicación de los compresores. Este es un cuarto descubierto a los lados, el cual proporcionaría un funcionamiento adecuado de los compresores.

Si se reubica la toma de aire de succión del compresor, este dinero ahorrado en energía, podría ser usado para realizar mantenimientos preventivos en toda la red de aire comprimido de la empresa.

5.5.2 MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite) que permita la aplicación final del mismo. En industria Carchi se utiliza un aire de proceso. Este, es un aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es también utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.

En este sentido es importante subrayar que a mayor calidad del aire, mayor será el costo para producirlo, porque una alta calidad de aire usualmente implica equipo adicional, el cual no únicamente incrementa la inversión del capital inicial, sino que también hace que el sistema global sea más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

Por lo tanto la recomendación más factible para garantizar la calidad del aire en Industria Carchi (aire de proceso) sería la instalación a la salida del compresor de dos filtros:

1. Un filtro separador para remover líquidos, el cual elimina gran parte del condensado.
2. Un filtro para partículas, el cual atrapa las partículas sólidas (sólidos en suspensión) que pueda tener el aire, causantes de oxidación e incrustaciones de tuberías.

El tener una calidad de aire recomendada desembocará en una reducción de instrumentos neumáticos dañados, lo cual se vera reflejado en una disminución de los costos por reposición de estos componentes, logrando de esta forma extender la vida útil de todo el sistema que utiliza aire.

5.5.3 MEJORAS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Las tuberías de aire y sus accesorios pueden afectar el rendimiento del sistema, en caso de diseño incorrecto o estado defectuoso de los elementos. Las caídas de presión excesivas debidas a tamaños inadecuados de diámetros de tuberías, elementos filtrantes bloqueados por suciedad y mangueras mal dimensionadas, representan pérdidas de energía.

Por lo tanto, en este sentido se recomendará la acción a seguir para que la caída de presión del sistema caiga dentro de los rangos recomendados.

En el apartado 4.4.2 se determinó que la caída de presión en el tramo más alejado de la red de aire era del 5% la cual es superior al valor admisible (2%). Pero, de este porcentaje la mayor caída de presión se encuentra en la línea de suministro que llega a la máquina thimonnier tramo 13-14-15-16 tal como se muestra en el plano RDAI (anexo B). Por lo tanto, se procederá a redimensionar (cambiar) esta tubería de suministro a dicha máquina:

Tramo de línea suministro:	13-14-15-16
Caudal de aire en el compresor (m ³):	51 cfm=24.1 L/s.
Diámetro interno de tubería (línea suministro):	¾"(19.05 mm)
Presión manométrica a la salida del compresor:	5.9 bar (anexo B)
Longitudes de tuberías equivalentes:	
3 codos de 90° de ½"	3x1.0= 3.0m
1 Reducción de 1" a ½"	1x0.2= 0.2m
Longitud real de la línea:	1.90m
Longitud equivalente de tubería total:	5.10 m.

Con los datos expuestos anteriormente se ingresa en la grafica de aire (anexo 8) y encontramos la caída de presión en la línea.

$$\Delta P_{\text{LINEASUMNISTRO}} = 0.021 \text{ bar}$$

$$\% \Delta P_{\text{LINEASUMNISTRO}} = \frac{0.021}{6} * 100 = 0.35\%$$

Por lo tanto, la máxima caída de presión que se tendría en el sistema sería:

$$\Delta P_{\text{TRAMOMAS ALEJADO}} = 0.10 + 0.021 \text{ bar} = 0.121 \text{ bar}$$

$$\% \Delta P_{\text{LINEAPRINCIPAL}} = \frac{0.121}{6} * 100 = 2.0\%$$

Entonces, siguiendo la recomendación de aumentar el diámetro de la tubería que llega a la máquina thimonnier se obtiene una caída de presión que cae en el rango permisible del 2%. Con esto se logra obtener las pérdidas energéticas permisibles y también representaría un costo inicial óptimo cada vez que sea necesario reemplazar algún elemento del sistema.

5.5.4 REDUCCIÓN DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO

Eliminar una fuga puede ser tan sencillo como apretar bien una conexión o tan complejo como reparar el accesorio con falla; pero, en general, el gasto para eliminarla siempre será más económico que el costo de no hacerlo.

En el apartado 4.4.3 se determinó que el sistema de aire comprimido de Industria Carchi tiene un 36.12% de pérdidas por fugas en la red. Por lo tanto una recomendación a seguir en este sentido es detectar las fugas, ya sea con instrumentación adecuada para el caso o mediante una solución jabonosa que es una alternativa económica y fácil. Esta solución se coloca sobre los codos, T's, válvulas y acoples de la instalación para determinar en donde se encuentran las fugas y marcarlas para su posterior reparación. Por lo tanto un buen programa preventivo de fugas debe incluir los siguientes componentes: identificación (incluyendo marcado), ajuste, reparación, verificación e involucramiento de todos los empleados.

Una vez que se han detectado las fugas, la reparación de las mismas se la debe hacer siguiendo el siguiente procedimiento:

- Sobre la fuga detectada colocar una primera capa de teflón, luego permatex y nuevamente teflón. De este modo se garantiza una estanqueidad sobre los electos y uniones roscadas.
- La prevención de fugas debe ser parte de un programa global, en el que se pruebe el desempeño de los sistemas de aire comprimido. Una vez que se detectan y reparan las fugas, el sistema debe de ser nuevamente evaluado.
- Dentro del programa de prevención de fugas, se debe establecer un calendario de reemplazo a intervalos regulares, se recomienda cada 3 ó 4 meses. de juntas flexibles, mangueras de hule, uniones, empaques, etc. Por otro lado, cuidando no quitarle flexibilidad al sistema, cambiar las uniones roscadas por uniones soldadas.

Por consiguiente, logrando detectar y reparar las fugas se puede estimar el ahorro del cual sería objeto la empresa. Suponiendo que se logra reducir en un 50% las fugas de aire (18.06% del valor del caudal del compresor), el ahorro en energía que se alcanzaría, recordando que la potencia del motor del compresor es de 10.07 kW:

$$\text{Electricidad Ahorrada} = \frac{36.12 - 18.06}{100} * 10.06 \text{ kW} * 11 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 7265.59 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{USD Ahorrados} = 7265.59 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 656.51 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Como se puede ver el potencial de ahorro en este sentido es importante, frente a la inversión casi nula que se debe de realizar.

5.6 PROGRAMA DE EJECUCIÓN

5.6.1 PLAN DE ACCIÓN

Tan pronto como ha sido aprobado el plan de ahorro energético y eventualmente adaptado de acuerdo con observaciones y directrices de la “Junta de accionistas” hay que confeccionar el “Plan Global de Ejecución”. Este plan global de ejecución debe fijar para cada proposición aprobada:

- Responsable para las diferentes fases.
- Cronograma de ejecución.
- Objetivos económicos perseguidos.

Responsable para las diferentes fases

Es la persona que tendrá el compromiso de fijar tiempos, manejar los recursos monetarios, objetivos a alcanzar y operadores que tendrán la labor de ejecutar la obra. Esta persona es el lapso de unión entre la alta gerencia y los trabajadores.

En este sentido, la gerencia debe estar conciente de que el trabajo con las personas es esencial y que debe estar orientado a reconocer las formas complejas y complementarias en que funcionan las mentes de las personas. En este camino lo esencial es prestar atención a la gente, crear espacios para el dialogo, dar participación, apoyar las ideas, establecer principios y valores. Por lo tanto, la empresa debe buscar que las personas funcionen de modo integrado, capaces de disfrutar en la empresa de un ambiente digno que les permita comprometerse.

Cronograma de ejecución

Este señala las actividades diarias que se van a realizar para alcanzar los objetivos propuestos. Un cronograma incluye actividades diarias, mensuales o anuales si es el caso. Debe especificar rutas críticas, reportes a gerencia y lapsos para el monitoreo de los trabajos realizados, así como también una posible retroalimentación en caso de que los objetivos no se hayan cumplido satisfactoriamente.

Objetivos económicos perseguidos

Una vez que se ha monitoreado el desempeño de los cambios realizados y que se ha alcanzado los objetivos operacionales propuestos, se debe emprender un seguimiento económico en los equipos. Esto requerirá de tener una contabilidad energética la cual valore costos actuales de operación para después compararlos con los que había antes de implementar los cambios en los sistemas seleccionados como prioritarios.

5.6.2 CAPACITACIÓN

Cuando un empleado se siente adecuadamente capacitado, tiene la oportunidad para derivar sobre su vida la satisfacción máxima nacida de su trabajo en una factoría, establecimiento u oficina.

Es evidente que una persona se desempeña mejor en su labor cuando se siente cómoda, segura, y acostumbrada, por lo que como consecuencia ocurren menos accidentes cuando se tiene una buena capacitación.

El interés de un empleado en la capacitación no se relaciona solamente con la obtención de los altos objetivos de la dirección, sino que además es un asunto eminentemente personal, al llevar a cabo prácticas de mejoramiento continuo que tiendan al desarrollo de una cultura de calidad.

Por lo tanto es imprescindible que se tenga en cuenta que al trabajador se lo contrata para que se desarrolle en el pleno de sus capacidades, no para que se accidente o enferme como resultado del desempeño de su trabajo.

No sólo basta proporcionar empleo al personal, sino que también se requiere respetar sus derechos e involucrarlos en los procesos de la administración, no basta capacitarlos, sino también lograr su participación dentro del planteamiento de expectativas de desarrollo.

Como capacitar al empleado

Una buena o mala capacitación puede ser la diferencia entre un empleado eficiente o uno ineficiente, además un nuevo empleado debe pasar por una transición de nuevo empleado a miembro completamente integrado de la organización. Una capacitación adecuada y bien estructurada puede facilitar este proceso y ayudar a reducir la rotación de personal y el costo financiero de errores en el trabajo.

Existen numerosas formas de capacitar al personal, por lo que la alta dirección de la empresa debe decidir entre cuales de ellas representan el menor costo para la empresa. A continuación se exponen algunas formas de capacitación:

Contratar a empresas especializadas en capacitación: Representa un gasto fuerte para la empresa, debido generalmente al número de empleados que esta tiene. Como se puede ver capacitar a la gente no es cosa sencilla y requiere de mucha inversión y si tomamos en cuenta que para mantenerse actualizado deberá capacitar a su personal más veces al año, dicha inversión sobrepasará en muchos casos su presupuesto destinado para esa tarea.

Lo recomendable en este sentido es capacitar al personal dentro de la empresa mismo, a través de:

- Videos, películas o documentales.
- Cursos interactivos, permiten capacitar en el momento que desee la empresa y sin que los empleados disminuyan su productividad, por que jamás dejan su empresa.
- A través de conferencias, charlas ofrecidas por empleados de la misma empresa que han sido anteriormente capacitados.
- Los gerentes, directivos, jefes de departamentos pueden ser capacitados para que después estos transmitan lo aprendido al resto del colectivo industrial.

Todas son alternativas que reducen los costos por concepto de capacitación y le dotarán a la empresa de: personal calificado y bien preparado, lo que trae consigo mayores dividendos. ¿Por qué?, simplemente por que ellos sabrán que hacer en los momentos de crisis, sabrán hacer bien su trabajo y créame hoy en día es muy difícil conseguir personas que lo hagan. Así pues, su prioridad debe ser en todo momento preparar a su personal, para que sean productivos, eficientes y sobre todo ganadores en cada una de sus áreas, cualquier directivo o gerente que no apueste a la capacitación está destinado al fracaso.

Bajo este contexto se puedo asegurar que:

- Ni el mejor producto del mundo
- Ni la mejor infraestructura
- Ni las mejores alianzas
- Ni un puñado de buenas estrategias
- Ni la mejor campaña de mercadeo

Le aseguran el éxito, todo lo anterior pierde todo sentido y valor en cuanto el factor humano desaparece, ¿Ahora vé lo importante que es el factor humano?.

5.7 PROGRAMA DE EVALUACIÓN

5.7.1 MONITOREO

Se debe establecer un método de evaluación para determinar y comprobar la existencia y los beneficios de las mejoras energéticas, a través de un protocolo de Monitoreo & Verificación (M&V) el cual es utilizado para determinar el valor y la distribución de los beneficios de estas mejoras. Antes de que un proyecto sea implementado se debe desarrollar un protocolo efectivo de M&V tal que asegure el éxito del proyecto y que las medidas implementadas sean sustentables en el tiempo. Dependiendo de la naturaleza del proyecto y de las necesidades de Industria Carchi, el M&V del desempeño de un proyecto puede ser extenso (por ejemplo, que cubra una instalación completa) o puede comprender sistemas simples o piezas de los equipos.

Desempeño Estipulado

El M&V está basado en la medición del factor de desempeño acordado (por ejemplo, horas de operación, índice energético, etc.) y aplicado al desempeño de los equipos antes y después de la implementación de la medida de ahorro de energía. Este trabajo se aproxima mejor donde las medidas implementadas involucran la instalación de unidades individuales de equipos o sistemas discretos dentro de la empresa.

Desempeño Medido

Las medidas implementadas son monitoreadas continuamente para medir y verificar su desempeño. Estas son comparadas contra una base de referencia para determinar el nivel de beneficio alcanzado. Esta aproximación aplica mejor cuando el empresa desea un monitoreo a largo plazo y con ello medir el desempeño en forma continua (el largo plazo permite ver si los "datos son consistentes") esto hace que las medidas implementadas puedan ser optimizadas en una base de tiempo real.

Desempeño de la Instalación Completa

Los beneficios del desempeño son determinados por la medición de los cambios en el desempeño de la instalación completa. Esta aproximación es mejor en situaciones donde la empresa quiere medir interacciones entre los sistemas cuando las medidas implementadas individualmente no pueden ser evaluadas directamente.

El M&V debe ser lo suficientemente riguroso para asegurar el desempeño del proyecto, pero sin que socave económicamente el proyecto.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA

Este capítulo indican los ahorros económicos y energéticos obtenidos en los diferentes sistemas auditados. Se detalla además, las inversiones a realizar en los sistemas. Luego se realiza una evaluación económica financiera a través de indicadores económicos como el VAN, la TIR y el beneficio/costo en donde se determina si el proyecto es viable o no.

Finalmente se calcula el tiempo de recuperación de la inversión realizada en las mejoras energéticas propuestas.

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS MEJORAS ENERGÉTICAS

6.1.1 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

Los ahorros económicos obtenidos en el sistema de refrigeración con amoniaco de Industria Lechera Carchi se basan en los siguientes aspectos: Régimen de funcionamiento del equipo, aislamiento de la tubería de succión, mejora en el aislamiento del banco de hielo, reducción del nivel de agua y mejora en la eficiencia del ciclo. Todos estos aspectos fueron analizados en el capítulo 5, apartados 5.2.1 al 5.2.3.

6.1.1.1 Ahorros obtenidos por la mejoras en aislamientos y régimen de funcionamiento

Al hacer trabajar el compresor un promedio de 13 horas diarias (en la noche) y no casi 24 horas como se lo hizo durante el ejercicio del 2006, el ahorro por concepto de electricidad será de:

$$\text{Ahorro Electricidad} = 23.5\text{Kw} * (24 - 13) \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 94352.5 \text{ [KWh/año]}$$

$$\text{Costo Electricidad} = 94352.5 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 8491.73 \text{ [USD/año]}$$

El tipo de inversión e realizar en este sentido, es prácticamente nula, pero requiere el monitoreo constante del personal de mantenimiento de la planta, a través de un programa de mantenimiento preventivo, que puede ser desarrollado por el personal de mantenimiento para no incurrir en costos por la realización de dicho programa.

Al aislar la tubería de succión se estaría consiguiendo un mejoramiento en el COP del ciclo, por lo tanto, el ahorro económico que se obtiene al adoptar esta sugerencia se lo considera dentro del beneficio que se lograría por mejoramiento del COP en el sistema de refrigeración de la empresa.

6.1.1.2 Ahorros obtenidos por reducción de la carga térmica de refrigeración

Mejoramiento en el aislamiento del banco de hielo

En el capítulo 4 (apartado 4.1.4.1) se estableció que las perdidas por transferencia de calor en el banco de hielo de ILCSA eran de 3 kW. Aislando el banco con lana de vidrio de 2" de espesor se tiene un flujo de calor hacia el banco de 0.26 kW (apartado 5.2.2), esto representa un ahorro para la empresa de:

$$\text{Consumo de Energía eléctrica} = (3 - 0.26)\text{Kw} * 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 240024 \text{ [KWh/año]}$$

$$\text{Costo Refrigeración NH}_3 = 24002.4 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 2160.22 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

El costo de la inversión en este sentido es de aproximadamente 523 dólares (Anexo K), debido a que toca adquirir lana de vidrio para aislar el banco.

Disminución en el nivel del agua del banco de hielo

La masa de agua actual que tiene que enfriar el banco de hielo de Industria Carchi es de 32670 kgm (32.67 m³). Si se reduce esta cantidad en un 35% la nueva masa de agua a enfriar sería de 21235.5 kgm (21.24 m³), el ahorro económico en este sentido sería de:

$$\text{Ahorro Electricidad} = (14.73 - 9.57) \text{Kw} * 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 45201.6 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo Electricidad} = 45201.6 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 4068.14 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

6.1.1.3 Ahorros obtenidos por mejora en el COP del ciclo de refrigeración

En el capítulo 4 (apartado 4.1.2.1) se determinó que el COP_{REAL} actual del sistema de refrigeración era de 3.69. En el capítulo 5 (apartado 5.2.3) se determinó que el COP siguiendo las recomendaciones del fabricante del equipo era de 4.04.

Por lo tanto, el ahorro en electricidad que se puede obtener siguiendo las recomendaciones anotadas anteriormente es:

$$\text{Ahorro Electricidad} = \left(1 - \frac{\text{COP}_{\text{Actual}}}{\text{COP}_{\text{Propuesto}}} \right) * \text{Consumo Electricidad} \quad (6-1)$$

$$\text{Ahorro Electricidad} = \left(1 - \frac{3.69}{4.04} \right) * 205860 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 17834.41 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro USD} = 17834.41 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 1605.09 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Como se puede observar, el mantener el equipo trabajando dentro de las especificaciones que da el fabricante traerá un ahorro de 1605 usd anuales, frente a una inversión nula que hay que realizar.

El ahorro, que se puede obtener en el sistema de refrigeración de amoniaco, siguiendo las recomendaciones citadas en el capítulo anterior se puede resumir en la tabla 6.1:

TABLA 6.1.

ILCSA: AHORROS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO			
MEJORA PROPUESTA	INVERSIÓN [USD]	AHORRO ENERGÉTICO ACTUAL [kWh/año]	AHORRO ECONOMICO ANUAL [USD]
Disminución régimen de funcionamiento	Nula	94352.5	8491.7
Cambio aislamiento del banco de hielo.	523	24002.4	2160.2
Reducción nivel de agua en banco hielo	Nula	24464.6	4068.1
Mejora en el COP del ciclo.	Nula	17834.4	1605.1
TOTAL	523	160 553.9	12 004.7
FUENTE: PROPIA			

6.1.2 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los ahorros económicos obtenidos en energía eléctrica de Industria Carchi se basan en los aspectos siguientes: selección de conductores y protecciones para motores, selección de una batería de condensadores y cambio de luminarias más eficientes. Todos estos aspectos fueron analizados en el capítulo 5, apartados 5.3.1 al 5.3.3 respectivamente.

6.1.2.1 Ahorros por selección de conductores y protecciones de motores.

Para analizar el beneficio económico del que sería objeto ILCSA al implantar conductores y protecciones de motores como lo recomendados en esta auditoría, la estadística de fallos funcionales en motores eléctricos, servirá de apoyo.

El resultado de un estudio hecho con más de 9.000 casos de defectos de motores en Inglaterra, Finlandia y Estados Unidos, indica que más de la mitad de los defectos producidos en los motores se deben a sobrecarga térmica, fallo de fase y humedad, aceite, polvo, etc. Es importante destacar que estos defectos se han producido a pesar de la presencia de un sistema de protección normal, generalmente relés térmicos bimetálicos. Por otra parte, mientras que sólo el 25% de los casos de defectos corresponde a motores de potencia superior a los 40 kW, el coste de la reparación de los mismos supone casi el 80% del total, lo que demuestra claramente que una buena protección es tanto más necesaria cuanto mayor es la potencia del motor.

TABLA 6.2.

DEFECTOS EN MOTORES ELECTRICOS

TIPO DE DEFECTO	% DEFECTOS	% MEDIA
Sobrecarga térmica.	18 - 46	30
Fallo de fase.	5 - 22	14
Humedad, polvo, aceite	15 - 21	19
Envejecimiento del aislante	7 - 10	10
Defectos del rotor.	10 - 13	13
Defectos de cojinetes	3 - 7	5
Diversos	5 - 11	9
Basados en 9000 casos de defectos. Defectos por año 2.5-4%		
FUENTE: INTERNET		

Cuando se produce un defecto en un motor no sólo hay que considerar el costo de la reparación del mismo, debido a que el costo de la parada de producción llega a ser más elevado que la reparación, como muy bien saben los responsables de producción y mantenimiento de Industria Carchi. De ahí la importancia de un buen sistema de protección que sólo actúe cuando haya un verdadero peligro, evitando las paradas innecesarias.

Haciendo una suposición de que en Industria Lechera Carchi en el año haya un 10% de defectos (fallo de fase por lo general) en sus motores. Esto representaría aproximadamente un total de 6 motores dañados al año (en ILCSA hay un total de 46 motores eléctricos). Si en Tulcán el arreglo de un motor se encuentra alrededor de los 350 dólares (esto dependiendo del tamaño del motor) se estaría hablando de que Industria Carchi tiene una pérdida de 2100 usd anuales, esto sin contar las pérdidas que se dan en producción.

Además, la explotación óptima de la capacidad de los motores se hace cada día más necesaria por su gran influencia en el concepto de rentabilidad de las instalaciones. Por otra parte, el mismo concepto exige que la instalación sólo se pare en aquellos casos absolutamente imprescindibles. Esto requiere necesariamente el empleo de un buen sistema de protección de motores

6.1.2.2 Ahorros por mejoramiento del factor de potencia

Como se sabe, el capacitador ahorra energía reactiva que es improductiva, evitando de este modo el cargo por bajo factor de potencia. En el caso de que este es superior al 0.9 se obtienen beneficios que pueden llegar hasta el 2.5% de bonificación del valor total de importe del consumo. Además de estos ahorros, al disminuir las pérdidas de energía en motores, cables y transformadores, se obtiene un beneficio económico actual muy alto.

El cargo por bajo factor de potencia, es parte integrante de la factura y su valor en la planilla y su valor se lo calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Cargo} = \text{Facturación anual} * \frac{3}{5} \left(\frac{0.90}{\cos \varphi_T} - 1 \right) \quad (6-2)$$

En la tabla 3.4 (capítulo 3) se estableció que Industria Lechera Carchi tiene una facturación anual de 30484.34 dólares. Una vez que se instale la nueva batería de condensadores, la nueva facturación En Industria Carchi sería:

$$\text{Nueva Facturación} = \text{Facturación Anual} - \text{Cargo} \quad (6-3)$$

$$\text{Nueva facturación} = 30484.34 - 30484.34 * \frac{3}{5} \left(\frac{0.90}{0.72} - 1 \right)$$

$$\text{Nueva facturación} = 30484.34 - 4572.65$$

$$\text{Nueva facturación} = 25911.69 \text{ uds/año.}$$

Por lo tanto, el ahorro económico que se obtendría es el siguiente:

$$\text{Ahorro Económico} = 30484.34 - 25911.69 = 4572.65 \text{ usd/año}$$

6.1.2.3 Ahorros por cambios de luminarias

En el anexo 3 se estimo que el número total de lámparas fluorescentes de las áreas productivas de Industria Carchi es de 125 con una potencia de 30 Watts cada una. Por lo tanto el nuevo costo en electricidad por concepto de iluminación será:

$$\text{Con. Electr.} = \left[\frac{(95 * 30) + (12 * 26) + (19 * 20)}{1000} \right] \text{Kw} * 11 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 14221.1 [\text{KWh/año}]$$

$$\text{Costo Iluminación} = 14221.1 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{usd}}{\text{KWh}} = 1279.9 [\text{USD/año}]$$

$$\text{Ahorro Iluminación} = 3149.12 - 1355.06 = 1869.22 [\text{USD/año}]$$

El ahorro, que se puede obtener en el sistema de electricidad, siguiendo las recomendaciones citadas en el capítulo anterior se puede resumir en la tabla 6.3:

TABLA 6.3.

ILCSA: AHORROS ECONÓMICOS EN ELECTRICIDAD		
MEJORA PROPUESTA	INVERSIÓN [USD]	AHORRO ECONÓMICO ANUAL [USD]
Selección conductores y protecciones para motores	5460.67	2100.0
Corrección del factor de potencia	3255	4572.7
Cambio de luminarias.	580	1869.2
TOTAL	9 295.7	8 541.9
FUENTE: PROPIA		

6.1.3 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Los ahorros económicos obtenidos en el sistema de generación y distribución de vapor de Industria Carchi se basan en los siguientes aspectos: mejoras en la eficiencia de combustión, mejoras en la eficiencia del generador de vapor, mejoras en el sistema de distribución de vapor. Todos estos aspectos fueron analizados en el capítulo 5, apartados 5.4.1 al 5.4.3 respectivamente.

6.1.3.1 Ahorros por mejora en la eficiencia de combustión

La eficiencia de combustión actual de la caldera de marca York Shipley, calculada en el capítulo 4 (apartado 4.3.1.2) es:

$$Ef1_{\text{comb @ 648}^{\circ}\text{F}} = 72.32\%$$

La eficiencia propuesta de combustión, calculada en el capítulo 5 (apartado 5.4.1.1) es:

$$Ef2_{\text{comb @ 558}^{\circ}\text{F}} = 81.08\%$$

Con la mejora propuesta se obtendría el siguiente ahorro en combustible:

$$\text{Ahorro Combustible} = \text{Consumo al Año Combustible} * \left(1 - \frac{Ef1_{\text{comb @ 648}^{\circ}\text{F}}}{Ef2_{\text{comb @ 558}^{\circ}\text{F}}} \right)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 31125.6 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \left(1 - \frac{72.32}{81.08} \right)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 3362.85 [\text{gal/año}]$$

Se sabe que el costo por galón para Industria Carchi tiene un costo de 1.037 usd, el ahorro económico que representa la propuesta sería de 3487.28 dólares al año.

6.1.3.2 Ahorros por mejora en la eficiencia del generador de vapor

La eficiencia actual de la caldera, calculada en el capítulo 4 (apartado 4.3.1.1) es:

$$\eta_{\text{actual caldera}} = \eta_1 = 64.53\%$$

La eficiencia propuesta de la caldera, calculada en el capítulo 5 (apartado 5.4.1.2) es:

$$\eta_{\text{Propuesta caldera}} = \eta_2 = 72.67\%$$

Con la mejora propuesta se obtendría el siguiente ahorro en combustible:

$$\text{Ahorro Combustible} = \text{Consumo al Año Combustible} * \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 31125.6 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \left(1 - \frac{64.53}{72.67}\right)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 3486.07 [\text{gal/año}]$$

Se sabe que el costo por galón para Industria Carchi tiene un costo de 1.037 usd, el ahorro económico que representa la propuesta sería de 3615.05 dólares al año.

6.1.3.3 Ahorro por precalentamiento del agua de alimentación

El Aumentar la temperatura del agua de alimentación (30 °C actualmente), mediante el aumento de la tasa de retorno del condensado hasta un valor de 50 °C, traería el siguiente beneficio económico para la empresa:

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}} * (h_{g@85\text{psig}} - h_{aa})}{\eta_{\text{caldera}} * \text{PCS}_{\text{comb.}}} \quad (6-4)$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = \frac{317.87 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{h}} * (2762.09 - 209.24) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{vapor}}}}{0.6453 * 165221.48 \frac{\text{kJ}}{\text{gal}}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = 7.61 [\text{gal/h}]$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = 7.61 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 11 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{comb.}} = 30558.51 [\text{gal/año}]$$

$$\text{Ahorro Combustible} = \text{Consumo actual} - \text{Consumo por propuesta} \quad (6-5)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 31557.9 - 30558.51$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 999.39 \text{ [gal/año]}$$

$$\text{Ahorro Económico} = 999.39 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * 1.037 \frac{\text{usd}}{\text{gal}}$$

$$\text{Ahorro Económico} = 1036.37 \text{ [usd/año]}$$

Para aumentar la tasa de retorno del condensado Industria Carchi tiene que mejorar el sistema de retorno de condensado, a través del monitoreo constante de las trampas de vapor, tuberías y bombas que lo componen ya que cualquiera de estas partes que este en mal estado ya cumple su función que es la retornar el condensado al tanque de alimentación de la caldera.

6.1.3.4 Ahorro por reducción de la presión de trabajo de la caldera

El reducir la presión actual (85 psig) a la que la caldera de marca York Shipley está generando el vapor, traería el siguiente beneficio económico para la empresa:

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}} * (h_{g@85\text{psig}} - h_{\text{aa}})}{\eta_{\text{caldera}} * \text{PCS}_{\text{comb.}}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = \frac{317.87 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{h}} * (2757.56 - 125.74) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{vapor}}}}{0.6453 * 165221.48 \frac{\text{kJ}}{\text{gal}}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = 7.85 \text{ [gal/h]}$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = 7.85 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 11 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{comb.}} = 31517.75 \text{ [gal/año]}$$

$$\text{Ahorro Combustible} = \text{Consumo actual} - \text{Consumo por puesto}$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 31557.9 - 31517.75$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 40.15 \text{ [gal/año]}$$

$$\text{Ahorro Económico} = 40.15 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * 1.037 \frac{\text{usd}}{\text{gal}}$$

$$\text{Ahorro Económico} = 41.64 \text{ [usd/año]}$$

En este sentido la inversión a realizar es nula, la presión de la caldera se puede reducir hasta encontrar una presión óptima que no afecta al proceso de producción.

6.1.3.5 Ahorros por disminución de fugas

En el capítulo 5 (apartado 5.4.5) se estableció que reemplazando los empaques del Macdonell y válvula de reducción de presión del intercambiador de calor del pasteurizador se obtenía un ahorro de 531 usd anuales. Además, en este mismo apartado se concluyó que desinfectando los tanques por 5 minutos se obtenía un flujo de vapor de 156.31 kg_{vapor}/h. Por lo tanto el ahorro en este sentido será de:

$$\text{\$Perdidos x Fugas de Vapor} = \text{Costo vapor} * D_{v \text{ total}}$$

$$\text{\$Perdidos x Fugas de Vapor} = 0.0256 \frac{\text{usd}}{\text{kg}_{\text{vapor}}} * 156.31 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{dia}}$$

$$\text{Ahorro Económico} = 4.001 \frac{\text{usd}}{\text{dia}} * 365 \frac{\text{dia}}{\text{año}} = 1460.56 \text{ [usd/año]}$$

$$\text{Ahorro Económico Total} = 1460.56 + 531 = 1991.56 \text{ [usd/año]}$$

6.1.3.6 Ahorros por aislamiento de las líneas de suministro de vapor

Si se realiza la recomendación de aislar todas las líneas de suministro, obtendríamos la siguiente reducción de pérdidas de calor:

$$\text{Reducción}_{\text{Perdidas de Calor}} = Q_{1 \text{ Perdido por aislamiento parcial}} - Q_{\text{Perdido por aislamiento total}}$$

$$\text{Reducción}_{\text{Perdidas de Calor}} = 11.76 - 3.70 \text{ kW} = 8.06 \text{ kW}$$

Esto nos da un total de reducción del 68.5% calor que se pierde por falta de aislamiento, en las tuberías de suministro de vapor.

El ahorro en combustible que se obtendría, sería el siguiente:

$$\text{Ahorro Combustible} = \frac{\text{Reducción}_{\text{Perdidas de calor}}}{\text{PCS}} \quad (6-6)$$

$$\text{Ahorro Combustible} = \frac{8.06 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}} * 3600 \frac{\text{seg}}{\text{h}}}{165221.48 \frac{\text{kJ}}{\text{gal}}}$$

$$\text{Ahorro Combustible} = 0.176 \text{ [gal/h]}$$

Por lo tanto el ahorro de combustible anual, por concepto de aislamiento sería de 706.64 galones. Lo cual da un total de 733.28 dólares al año.

El ahorro, que se puede obtener en el sistema de generación y distribución de vapor, siguiendo las recomendaciones citadas en el capítulo anterior se puede resumir en la tabla 6.4:

TABLA 6.4.

ILCSA: AHORROS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS EN SISTEMA DE VAPOR			
MEJORA PROPUESTA	INVERSIÓN [USD]	AHORRO ENERGÉTICO ACTUAL [gal/año]	AHORRO ECONÓMICO ANUAL [usd/año]
Mejora eficiencia de combustión	1300	3362.9	3487.3
Mejora eficiencia de la caldera		3486.1	3615.1
Pre calentamiento del agua	300	999.4	1036.4
Reducción presión de trabajo	Nula	40.2	41.6
Arreglo de fugas	6	-----	1991.6
Aislamiento tuberías	402	706.6	733.3
TOTAL	2 008	8 595.2	10 905.3

FUENTE: PROPIA

NOTA: La sostenibilidad del ahorro en el tiempo es posible únicamente a través de un monitoreo instrumentado periódico de los gases de combustión.

6.1.4 AHORROS OBTENIDOS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Los ahorros económicos obtenidos en el sistema de aire comprimido de Industria Carchi se basan en los siguientes aspectos: ubicación de los compresores, arreglo de fugas de aire comprimido. Estos aspectos fueron analizados en el capítulo 5, (subcapítulos 5.5.1 al 5.5.4).

6.1.4.1 Ahorros por reubicación de compresores

En el capítulo tres (subcapítulo 3.4.4) se estimó que el costo al año en aire comprimido era de 3639 USD. Si se reubicara los compresores este valor se reduciría a 3519 usd, obteniendo un ahorro de 120 usd al año. Esto se basa en el hecho de que una disminución de 10°C en la temperatura de succión del aire del compresor, provoca una disminución del 3.3% en la

potencia del motor, además de un mejoramiento del trabajo del motor del compresor.

6.1.4.2 Ahorros por arreglo de fugas de aire

Suponiendo que se logra reducir en un 50% las fugas de aire (18.06% del valor del caudal del compresor), el ahorro en energía que se alcanzaría, recordando que la potencia del motor del compresor es de 10.07 kW:

$$\text{Electricidad Ahorrada} = \frac{36.12 - 18.06}{100} * 10.06 \text{ kW} * 11 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 7265.59 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{USD Ahorrados} = 7265.59 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 0.09 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} = 656.51 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Como se puede ver el potencial de ahorro en este sentido es importante, frente a la inversión nula que se debe de realizar. El ahorro, que se puede obtener en el sistema de aire comprimido, siguiendo las recomendaciones citadas en el capítulo anterior se puede resumir en la tabla 6.5:

TABLA 6.5.

ILCSA: AHORROS ECONÓMICOS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO		
MEJORA PROPUESTA	INVERSIÓN [USD]	AHORRO ECONÓMICO ANUAL [USD]
Reubicación de compresores	12.0	120
Calidad aire	555.9	-----
Arreglo de fugas de aire	Nula	657
TOTAL	567.9	777 USD
FUENTE: PROPIA		

Como se puede ver en los apartados anteriores el ahorro que se obtiene al aplicar buenas prácticas energéticas en Industria Carchi es importante y en algunos casos requiere de una inversión nula. En la tabla 6.6 se resumen los ahorros tanto de energía como monetarios en los diferentes sistemas auditados.

TABLA 6.6.

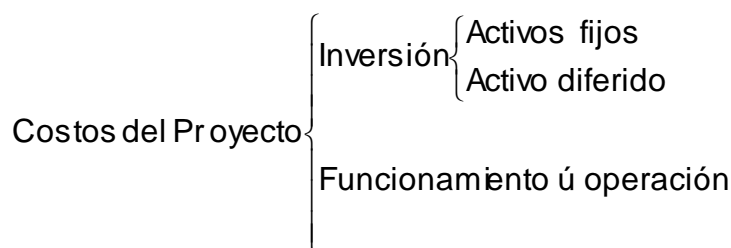
ILCSA: AHORROS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS TOTALES EN SISTEMAS AUDITADOS		
SISTEMA AUDITADO	AHORRO ENERGÉTICO	AHORRO ECONÓMICO ANUAL [USD/año]
Sistema de refrigeración	160554 kWh/año	12005
Sistema eléctrico	-----	8542
Sistema de vapor	8595 gal/año.	10905
Sistema de aire comprimido	-----	777

TOTAL	32 229 usd/año
FUENTE: PROPIA	

En el capítulo 3 (subcapítulo 3.3) se llegó a establecer que Industria Lechera Carchi tiene un costo de 87298 dólares al año por concepto de energéticos. Por lo tanto, implementando las recomendaciones citadas anteriormente se lograría reducir esta cantidad a 55069 dólares (87298-32229), lo cual representa un ahorro del 36.92 % del costo que tiene actualmente la empresa.

6.2 DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO

El análisis económico de los cambios propuestos para los sistemas auditados en Industria lechera Carchi se lo hará respecto a la duración del beneficio del costo, estos costos son la parte esencial de las diferencias probables entre la operación presente y la modificada, mientras el rango de actividades no cambie significativamente. Ahora bien, en la clasificación de los costos con respecto a la duración del beneficio del costo, se tienen dos tipos de costos: Costos de inversión y costos de operación. Por lo tanto los costos del proyecto se refieren a los egresos o inversiones necesarias para obtener los ahorros económicos propuestos y se resumen en el siguiente cuadro:



Costos de Inversión

Los costos de inversión tienen que ver con la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y se los detalla en la tabla 6.7:

TABLA 6.7.

ILCSA: INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS				
SISTEMA AUDITADO	ACTIVO FIJO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [usd]	COSTO TOTAL [usd]
Sistema de refrigeración NH₃	Aislamiento tuberías	4 m	5.71	22.84
	Aislamiento banco hielo	73 m ²	7.16/m ²	522.86
	Alambre AWG 20	18.78 m	0.394/m	7.399
	Alambre AWG 16	222.39 m	0.394/m	87.622
	Alambre AWG 14	130.51 m	0.394/m	51.421
	Alambre AWG 12	14.01 m	0.586/m	8.210
	Alambre AWG 10	190.08 m	0.933/m	177.345
	Alambre AWG 8	40.02 m	1.682/m	67.314

Sistema de energía eléctrica	Alambre AWG 6	62.18 m	2.694/m	167.513
	Alambre AWG 4	37.71 m	3.885/m	146.503
	Alambre AWG 2	11.81 m	5.789/m	68.368
	Alambre AWG 1/0	6.84 m	9.998/m	68.386
	Alambre AWG 2/0	37.94 m	12.531/m	475.426
	Alambre AWG 3/0	28.73 m	15.780/m	453.359
	Alambre AWG 4/0	44.41 m	19.783/m	878.56
	Alambre MCM 300	28.53 m	27.162/m	774.932
	Alambre MCM 600	13.93 m	59.976/m	835.466
	Contactador GMC-9	31	9.16	283.96
	Contactador GMC-12	4	11.22	44.88
	Contactador GMC-18	6	16.73	100.38
	Contactador GMC-32	9	34.16	307.44
	Contactador GMC-40	1	38.45	38.45
	Contactador GMC-50	2	52.78	105.56
	Contactador GMC-75	2	59.16	118.32
	Contactador GMC-85	1	62.34	62.34
	Contactador GMC-150	2	65.76	131.52
	Banco de condensadores	1	3255,00	3255,00
	Lámparas fluorescentes	125 (20,26y30)	-----	580.00
Sistema de vapor	Aislamiento tuberías suministro.	Anexo 10		401.64
	Empaques	2	3.00	6.00
Sistema de Aire Comprimido	Tubería de 1"	24 metros	0.50	12.00
	Filtro separador de agua 1"	1	285,25	285,25
	Filtro para partículas 1"	1	270,65	270,65
TOTAL EN ACTIVO FIJO				10 816.91
FUENTE: MERCADO LOCAL Y NACIONAL				

Costos diferidos

Los costos diferidos son aquellos requeridos para obtener los beneficios esperados. En la tabla 6.8 se pueden ver los costos diferidos para el proyecto:

TABLA 6.8.

ILCSA: INVERSIÓN EN ACTIVO DIFERIDO		
ACTIVO	DETALLE	COSTO [usd]
Auditoría exergética	Anexo L	1620.40
Ingeniería del proyecto de implantación.	3.5% de la inversión del activo total fijo	378.59
Supervisión del proyecto de implantación	1.5% de la inversión total en activo fijo	162.25
Administración del proyecto de implantación	0.5 % de la inversión total en activo fijo.	54.08
Mejoras en la eficiencia de la caldera y de combustión	Monitoreo de gases (3 al año).	1300.00
TOTAL EN ACTIVO DIFERIDO		3515.32
FUENTE: PROPIA		

En la tabla 6.9 se indica el total de los costos de inversión en los cuales incurriría Industria carchi para implementar el proyecto de optimización del uso de la energía.

TABLA 6.9.

ILCSA: INVERSIÓN TOTAL EN ACTIVO FIJO Y DIFERIDO	
ACTIVO	COSTO
Inversión total en activo fijo	10816.91
Inversión total en activo diferido	3515.32
Subtotal	14332.23
+ 5% de imprevistos	716.61
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN	15 048.84
FUENTE: TABLAS 6.6 Y 6.7	

Costos de operación

Son los necesarios para poner en marcha el proyecto de implantación y se presentan en la tabla 6.10

TABLA 6.10.

ILCSA: COSTOS DE OPERACIÓN		
CONCEPTO	DETALLES	COSTO [usd]
Mano de obra directa	Anexo M	1812.00
Energía eléctrica		542.03
Depreciación	Tabla 6.11	2279.23
COSTO TOTAL DE OPERACION		4 633.26
FUENTE: PROPIA		

6.3 DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

La depreciación se da en función del tiempo, por lo tanto en un lapso de tiempo un bien tangible pierde valor produzca o no. En cambio la amortización es una función de la producción, esta se basa en la capacidad de producción de una máquina, por lo tanto una máquina se puede amortizar si esta ha cumplido en un lapso de tiempo con el número estimado de producción. Según el reglamento a la Ley de Régimen Tributario Interno, el porcentaje de depreciación permitido para los activos fijos, en el caso del presente proyecto (máquinas y equipos), es del 10% anual. Además, en el país solo está contemplado el uso del método de depreciación llamado línea recta.

Por otra parte, este Reglamento establece que las amortizaciones de los costos y gastos acumulados en la investigación o en ampliaciones y mejoramiento de la planta, se efectuarán

en periodo no menor de cinco años en porcentajes anuales iguales. En la tabla 6.11 se indica la depreciación de los equipos requeridos (activo fijo) y la amortización de la inversión diferida (activo diferido) aplicando el método de depreciación lineal, ya que este toma en cuenta la vida útil del activo.

TABLA 6.11.

ILCSA: DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACION DE ACTIVO FIJO Y DIFERIDO								
ACTIVO	VALOR	DEPRECIACIÓN [%]	1	2	3	4	5	VR
Aislamiento tuberías	22.84	10	2.82	2.82	2.82	4.56	2.82	11.42
Aislamiento banco hielo	522.86	10	52.29	52.29	52.29	52.29	52.29	261.41
Conductores valor total	4267.82	10	920.71	920.71	920.71	920.71	920.71	4603.57
Contactores costo total	1192.85	10	119.29	119.29	119.29	119.29	119.29	596.4
Banco de condensadores	3255,00	10	325.5	325.5	325.5	325.5	325.5	1267.5
Lámparas fluorescentes	580.00	10	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	290.0
Aislamiento tuberías suministro.	401.64	10	40.16	40.16	40.16	40.16	40.16	200.82
Empaques	6.00	10	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	3.00
Tubería de 1"	12.00	10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	6.00
Filtro separador de agua 1"	285,25	10	28.53	28.53	28.53	28.53	28.53	142.63
Filtro para partículas 1"	270,65	10	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07	135.33
Inversión en activo diferido	3515.32	20	703.06	703.06	703.06	703.06	703.06	0.00
TOTAL			2279.23	2279.23	2279.23	2279.23	2279.23	7 508.08

FUENTE: PROPIA

6.4 ESTADO DE RESULTADOS

El objetivo de realizar un estado de resultados (estado de pérdidas y ganancias) es calcular el Flujo Neto de Efectivo (FNE) que es la cantidad necesaria para realizar la evaluación económica del proyecto. En consecuencia, se proyectará a cinco años los resultados económicos que se supone tendrá la empresa, tomando en cuenta la inflación. En la tabla 6.12 se indica el cálculo del FNE.

De acuerdo al informe mensual de inflación del mes de julio del 2007 realizado por el Banco Central, la aceleración de la tasa de inflación observada en ese mes (0.85%), confirma y acentúa el repunte inflacionario que se viene observando desde enero. Este valor refleja una aceleración del ritmo de crecimiento de los precios, muy superior al nivel observado en el mes de Junio, en el que los precios aumentaron en 0.23%.

Este crecimiento del índice de precios condujo a que la inflación en Julio del 2007 se ubique en 3.89%. En este sentido, en el Ecuador se espera un índice inflacionario de entre el 4% y el 4.5% en los próximos años.

Por lo mencionado, se ha utilizado una inflación del 4% para los cálculos de la tabla 6.12.

TABLA 6.12.

ILCSA: ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS						
AÑO	0	1	2	3	4	5
+ Ingresos Ahorros	0.00	32 229.00	33518.16	34858.89	36253.24	37703.37
Activos fijos	10236.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Activo diferidos	3083.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
- Inversión	13320.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subtotal	13320.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5% imprevistos	666.0175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inversión total	13 986.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
- Costo de operación	4622.89	4 807.81	5 000.12	5 200.12	5 408.13	5 624.45
= Utilidad Bruta	-18609.26	27421.19	28518.04	29658.76	30845.11	32078.92
-15% Participación trabajador	0.00	4113.18	4277.71	4448.81	4626.77	4811.84
=Utilidad antes de impuestos	-18609.26	23308.02	24240.34	25209.95	26218.35	27267.08
- 25% Impuesto a la renta	0.00	5827.00	6060.08	6302.49	6554.59	6816.77
=Utilidad después impuestos	-18609.26	17481.01	18180.25	18907.46	19663.76	20450.31
+ Depreciación	0.00	2268.86	2359.61	2454.00	2552.16	2654.25
= Flujo Neto de Efectivo FNE	-18609.26	19749.87	20539.87	21361.46	22215.92	23104.56

FUENTE: PROPIA

6.5 CRONOGRAMA DE INVERSIONES

Un cronograma de inversiones es el conjunto de tareas y actividades a seguir para la compra de activos fijos y su puesto en funcionamiento a fin de conseguir los ahorros energéticos propuestos. Este cronograma fue realizado con ayuda del programa Project 2003 y se encuentra en el anexo N.

6.6 CALCULO DE INDICADORES ECONÓMICOS

Los indicadores económicos como el VAN y el TIR nos permiten determinar si la inversión ha realizar en un proyecto es rentable o no.

6.6.1 VALOR ACTUAL NETO “VAN”

Por Valor Actual Neto de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Es decir, el VAN es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados en tiempo presente de la inversión inicial, esto, equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias en términos de su valor equivalente es este momento o tiempo cero.

Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Un VAN nulo significa que la rentabilidad del proyecto es la misma que colocar los fondos en él invertidos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada. La ecuación del VAN para un periodo de cinco años es:

$$\text{VAN} = \frac{\text{FNE}_0}{(1+i)^0} + \frac{\text{FNE}_1}{(1+i)^1} + \frac{\text{FNE}_2}{(1+i)^2} + \frac{\text{FNE}_3}{(1+i)^2} + \frac{\text{FNE}_4}{(1+i)^4} + \frac{\text{FNE}_5 + \text{VR}}{(1+i)^5} \quad (6-7)$$

Donde:

FNE → Flujo neto de efectivo desde el año cero hasta el año 5.

VR → Valor Residual o de salvamento = \$ 7571.84 (Fuente tabla 6.11)

El valor residual VR debe ser modificado ya que también sufrirá los efectos de la inflación, por lo tanto llevándolo a valor futuro:

$$\text{VR} = 7508.08 * (1 + 0.04)^5$$

$$\text{VR} = 9134.73 \text{ usd}$$

El valor i en la ecuación 6-7 es el TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento) y representa la tasa mínima de ganancia sobre la inversión que va a realizar la empresa. Su valor debe reflejar el riesgo que corre el inversionista de no obtener las ganancias pronosticadas. Se la calcula mediante la ecuación 6-8:

$$i = \text{TMAR} = r + f + rf \quad (6-8)$$

Donde:

r → Premio al riesgo 10%

f → Inflación (4% anual)

$$TMAR = 0.1 + 0.04 + (0.1 * 0.04)$$

$$TMAR = 0.144 = 14.4\%$$

Reemplazando datos y resolviendo la ecuación 6-7 el VAN tendrá un valor de:

$$VAN = 56940 \text{ usd}$$

Del cálculo anterior se puede observar que el VAN es positivo, lo cual significa que se obtienen ganancias a lo largo de los cinco años por un monto igual a la TMAR aplicada. Desde este punto de vista la inversión es aceptable.

6.6.2 TASA DE RETORNO INTERNA “TIR”

La TIR es la tasa por la cual el VAN es igual a cero. Se le llama Tasa interna de retorno porque supone el valor real del rendimiento en la inversión realizada. Para determinar la TIR, hemos utilizado la ayuda del programa MathCad, por medio del método de prueba y error se dan diferentes valores de i en la ecuación 6.7 hasta que el VAN se haga cero. Por consiguiente la TIR es:

$$TIR = 101.99\%$$

Se concluye que el rendimiento de la empresa (TIR) es mayor que el mínimo fijado como aceptable (TMAR) y la inversión es económicamente rentable.

6.6.3 ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO “B/C”

El análisis beneficio/costo permite definir la fiabilidad del proyecto a ser implantado al proporcionar una medida de los costos en que se incurren en la realización del proyecto, y a su vez comparar dichos costos previstos con los beneficios esperados. Para ello es necesario traer a valor presente los ingresos y los egresos del estado de pérdidas y ganancias (tabla 6.12) y aplicar la ecuación 6-9:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum \text{Ingresos actualizados}}{\sum \text{Egresos actualizados}} \quad (6-9)$$

En la tabla 6.13 se indican los ingresos y egresos actualizados:

TABLA 6.13.

ILCSA: INGRESOS Y EGRESOS TRAJIDOS A VALOR PRESENTE				
AÑO	INGRESOS	EGRESOS	INGRESOS ACTUALIZADOS	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	0.00	19682.10	0.00	19682.10
1	32229.00	4 818.59	28172.20	4212.05
2	33518.16	5 011.33	25611.09	3829.14
3	34858.89	5 211.79	23282.81	3481.04
4	36253.24	5 420.26	21166.19	3164.58
5	37703.37	5 637.06	19241.99	2876.89
		Σ=	117 474.30	37 245.79

$$\frac{B}{C} = \frac{117474.30 \text{ USD}}{37245.79 \text{ USD}} \Rightarrow \frac{B}{C} = 3.15$$

La relación beneficio/costo es de 3.15, esto significa que por cada dólar invertido en este proyecto se recibe \$ 3.15 de beneficio.

Finalmente, se va a determinar el periodo de devolución, es decir, el tiempo requerido para recuperar el monto inicial de la inversión. El método empleado calcula la cantidad de tiempo que se tomaría para lograr un flujo neto de efectivo positivo igual a la inversión inicial. El análisis no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo y se lo encuentra con la siguiente expresión:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{|FNE_0|}{FNE_1 + FNE_2 + FNE_3 + FNE_4 + FNE_5} \times 5 \text{ años} \quad (6-10)$$

$$\text{Periodo de recuperación} = 0.92 \text{ años} = 1 \text{ año}$$

En la figura 6.1 se resumen los indicadores económicos calculados anteriormente, en donde se ve claramente que el proyecto de optimización del uso de la energía en Industria Lechera Carchi S.A es económicamente rentable.

VAN= \$ 56940 >0
TIR= 101.99% > TMAR > 14.40%
B/C= 3.15 > 1
RECUPERACION: 1 AÑO

FIG6.1. INDICADORES ECONOMICOS

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

GENERALES

1. En Industria Lechera Carchi S.A, antes de la auditoría no se contaba con planos de ninguna de sus instalaciones, ni de los sistemas consumidores de energía.
2. Industria Carchi no cuenta con registros de mantenimiento ni de desempeño de ningunos de los equipos y sistemas existentes en la planta. Además no exista una gestión del mantenimiento correctivo, ya que es tipo de mantenimiento es el que se utiliza en la planta.

3. Debido a que en industria Carchi actualmente se utiliza el 45% de su capacidad instalada y mantiene como capacidad ociosa o sin utilizar el 55%, el desempeño de la empresa no es económico, generando en algunos casos grandes pérdidas económicas.
4. El tipo de pasteurización utilizada en Industria Lechera Carchi es la HTST (High Temperature Short Time), la cual trabaja entre 72 y 80 °C, durante 15 a 20 segundos. También es conocida como pasteurización rápida y alta. Es tipo de pasteurización es utilizada cuando se procesa cantidades de leche superiores a los 2000 litros (20000 litros diarios para ILCSA).
5. Industria Carchi al año tiene un promedio de consumo de 286050 kWh lo cual representa un costo de \$ 30484 anuales. En lo que se refiere a combustible se consumen un total de 54786 galones de diesel, lo que representa para la empresa un costo de \$56813. Es decir, que la empresa al año tiene un costo de 85297 dólares por concepto de energéticos.
6. Debido a que Industria Carchi procesa anualmente un promedio de 7 300 000 litros de leche y que el costo energético asciende a \$85297, su costo específico energético actualmente es de 0.0119 usd/litro. Es decir, que la empresa gasta 0.0119 usd por cada litro de leche procesada al año.
7. Al implementarse las mejoras propuestas en los sistemas auditados se tendría un ahorro del 36.92% del costo que por energéticos tiene Industria Carchi, es decir que al año la empresa se podría ahorrar unos 32229 usd.
8. Los indicadores económicos; VAN, TIR, B/C y el periodo de recuperación de la inversión, establecen de que el proyecto de optimización del uso de la energía que se propone para Industria Lechera Carchi es rentable.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

1. El sistema de refrigeración con amoníaco de Industria Carchi tiene un consumo de 205860 kWh (considerando 24 horas de funcionamiento), esto significa un costo de \$18527 anuales. Esto representa el 60.8% del costo de electricidad que tiene la empresa. Por lo tanto el sistema de refrigeración es el equipo más costoso de la planta.
2. Los rangos de operación del equipo de refrigeración se encuentran fuera de los parámetros permitidos por el fabricante en lo que se refiere a presiones y temperaturas.
3. El coeficiente de operación real (COP_{REAL}) del ciclo de refrigeración es de 3.69, lo cual se encuentra bastante alejado del COP teórico (4.30), provocando de esta manera pérdidas económicas para la empresa.
4. Actualmente el sistema de refrigeración no se encuentra funcionando satisfactoriamente, es decir, como un banco de hielo, ya que el equipo se encuentra prendido durante las horas de pasteurización. No acumulando el frío necesario para el desarrollo de toda su capacidad. Esto ocasiona que el compresor solo aproveche 5 kW de los 22 kW que se tiene instalado en la planta.
5. La línea de succión del sistema no tiene aislante y el termómetro del lado de alta del compresor se encuentra dañado. Las superficies del banco de hielo se encuentran sucias y con algas y las paredes del mismo no están bien aisladas térmicamente. Las superficies del condensador evaporativo y el evaporador se encuentran llenas de óxidos y polvo. Por lo que es notorio que el sistema se encuentra sumamente descuidado y no se le da por lo menos una limpieza mínima.
6. La ganancia actual de calor a través de las paredes del banco de hielo es de 26280 kWh/año (3 kW), esto a más de representar una carga extra para el equipo tiene un costo de 2365 dólares, lo cual representa una pérdida para la empresa.
7. Las principales oportunidades de mejoras energéticas que se detectaron en el sistema de refrigeración son: aislamiento de líneas de baja presión, aislamiento del banco de hielo, disminución de la cantidad de agua en el banco de hielo, mejoramiento en la eficiencia del ciclo, disminución del régimen de funcionamiento del equipo. De estas oportunidades de mejora las que requieren inversión son las que tienen que con aislamiento, mientras que el resto la inversión es prácticamente nula, pero requieren el

monitoreo constante por parte del personal de mantenimiento, además de un programa de mantenimiento preventivo.

8. El ahorro energético que se puede obtener en el sistema de refrigeración es de 160554 kWh/año, lo cual representa un total de 12005 dólares frente a una inversión de \$546. El ahorro obtenido en el sistema de refrigeración es del 78%.

SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1. Los receptores de energía eléctrica en Industria Carchi representan una carga de 217085 watts, puesto que estos son los responsables del funcionamiento de diversos equipos como: bombas, ventiladores, agitadores, compresores, calentamiento y enfriamiento, equipo para el procesamiento de la materia prima (leche) y para el manejo de maquinaria.
2. Actualmente Industria Carchi tiene un bajo factor de potencia ($\cos\phi=0.72$) lo cual en un futuro le podría traer sanciones por parte de la estatal Emelnorte.
3. El desperdicio de electricidad en Industria Carchi es debido a: El incremento de equipos que se ha realizado sin ningún estudio previo; La mayoría de instalaciones eléctricas se encuentra en mal estado y mal realizadas; la capacidad en cuento a carga se ha aumentado
4. La iluminación en las áreas de producción tiene un consumo de 34690 kWh y para la empresa representa un costo de 3149 usd/año, este costo representa el 10.33% del costo total que por electricidad tiene la empresa. Además, el 76.6% de esta iluminaria es del tipo incandescente y los niveles de iluminación se encuentra fuera de los valores recomendados.
5. La mayor parte de boquillas se encuentran en mal estado y no se sabe si están o no consumiendo electricidad.
6. La principal fuente de averías de motores eléctricos en la empresa es a causa de falta de fases, debido a que la mayoría de motores no cuentan con sistemas de protección

contra estas fallas. Originándose de esta forma pérdidas económicas importantes para Ilcsa, no solo por la reparación del motor sino también por la paralización de la producción que en muchos casos supera en valor a la misma falla mecánica.

7. Las principales fuentes de mejora que se detectaron en el sistema de energía eléctrica son: mejoramiento del bajo factor de potencia, selección de conductores y protecciones para motores, adecuación de los niveles de iluminación y cambios de luminarias eficientes.
8. En energía eléctrica el ahorro estimado es de 8542 usd/año, frente a una inversión de 9295.67. En este caso la inversión es mayor que el ahorro obtenido debido a que se supone que todos los receptores de electricidad serán dotados de conductores y protecciones de acuerdo a lo especificado en esta auditoría.

SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

1. En la empresa existen dos calderas una de marca Continental y otra de marca York Shipley ambas de procedencia estadounidense. La caldera de marca Continental sólo se prende cuando el proceso requiere más vapor o cuando se hace mantenimiento a la caldera York Shipley. Por lo tanto la caldera York Shipley es la de mayor funcionamiento en la empresa.
2. El vapor generado por esta caldera se utiliza para la limpieza de la planta, en las marmitas de yogurt y queso, en el proceso de pasteurización, para desinfectar los tanques y maquinaria (que está en contacto con la leche) después de ser utilizados.
3. La caldera trabaja 11 h/d de lunes a domingo, esto da un total de 4115 horas al año. En cuanto tiene que ver con el mantenimiento de la caldera, se hace uno total una vez al año, en el mes de diciembre y no se cuenta con registro de historial del funcionamiento de la caldera ni de mantenimiento diario o periódico y se hace una sola purga a las 6 de la tarde.
4. La caldera de marca York Shipley es la de mayor funcionamiento en la empresa y consume un total de 2594 galones de diesel mensuales, lo cual representa al año un total de 31126 galones. Por lo tanto la caldera York Shipley representa un costo de \$

32277 dólares. Esto equivale al 56.8% del costo total que por combustible tiene la empresa.

5. La eficiencia actual de combustión de la caldera York Shipley es baja (72.32%), esto se debe a que las temperaturas de chimenea son altas (379 °C) y debido a que el proceso de combustión en si es de mala calidad térmica.
6. La eficiencia actual del generador de vapor es baja (64.53%), esto se debe a que las perdidas por chimenea (27.68%), por paredes de la caldera (2.83%) y pérdidas por purga (4.96%) se encuentran tienen valores elevados.
7. Se estimó que la caldera de marca York Shipley produce 318 kg_{vapor}/hora, con un consumo horario de 7.86 galones, lo cual representa un costo de \$ 8.15. Por lo tanto, el costo de producir un kg de vapor es de 0.0256 usd.
8. El porcentaje de aire teórico con el que esta trabajando la caldera es del 46.98% lo cual genera un proceso de combustión de baja calidad.
9. Las fugas más importantes que tiene el sistema de vapor se dan en: el Mcdonell, la válvula de reducción de la presión del intercambiador de calor del pasteurizador. Al desinfectar los tanques de almacenamiento de la leche y equipo que se encuentra en contacto con la misma. En este sentido la perdida asciende a \$ 3453 al año.
10. La tasa actual de retorno del condensado 28.57%, esto implica tener una temperatura baja del agua de alimentación baja y por lo tanto un mayor consumo de agua fría la cual requiere ser calentada y tratada químicamente.
11. El 95.36% de las líneas de suministro se encuentra sin aislante (71 metros de tubería), provocando de esta forma perdidas energéticas y económicas para la empresa. Este hecho hace de que el 5.05% del calor generado transmitido al vapor se disipe al medio exterior.
12. El proceso de producción de vapor es de aceptable calidad termodinámica, ya que esta se realiza a partir de un proceso de combustión, cuya irreversibilidad es baja (9.52 kW). Esto representa el 16% del potencial de trabajo del vapor (60.32 kW).

13. Las principales mejoras que se detectaron en el sistema de vapor son: en la eficiencia de combustión y en la eficiencia del generador de vapor, aislamiento de las tuberías de suministro de vapor, arreglo de fugas de vapor, precalentamiento del agua de alimentación, reducción de la presión de trabajo de la caldera
14. El ahorro económico anual en el sistema de vapor es de \$ 10905, frente a una inversión de 1608 usd. Esto equivale a ahorrar 8595 galones de diesel al año.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

1. El sistema de aire comprimido tiene un costo para la empresa de 3639 usd por un consumo de 40431 kWh/año. Esto representa el 11.94% del costo total que por electricidad tiene industria Carchi.
2. El compresor para aire se encuentra en un cuarto en donde la temperatura alcanza los 26 °C aproximadamente, esto genera un rendimiento ineficiente del compresor.
3. La caída de presión en todo el tramo más alejado de la red es superior (≈ 3 veces) al valor admisible (2%), pero, la mayor caída de presión se da en la línea de suministro, debido a que esta tubería se encuentra subdimensionada.
4. Un 36.12% de pérdidas estimadas por fugas en la red de distribución de aire comprimido de Industria Carchi, son evidencia de que el sistema se encuentra descuidado y que no se han realizado revisiones, evaluaciones ni un mantenimiento de la instalación.
5. El ahorro económico anual en el sistema de vapor es de \$ 777, frente a una inversión de 568 usd.

7.2 RECOMENDACIONES

1. El tener en un lugar conveniente planos, diagramas de las instalaciones de la empresa hará que cualquier trabajo que se vaya a realizar en un futuro en la empresa sea un fiel representativo de la realidad que vive la organización.
2. El llevar un historial de funcionamiento y mantenimiento diario o periódico de los equipos de la empresa hará que los trabajos de reparación de los mismos se realicen con más prontitud, por que siempre que se cuenta con el historial de una máquina cualquiera se tiene en la empresa un stock de repuesto de aquella.
3. De ahora en adelante, para toda mejora que se vaya a realizar en la empresa se procurará de que por medio exista un estudio de la necesidad a satisfacer ya que esto nos preemitirá en un tiempo dado dar de baja o amortizar dicha máquina cuando esta haya cumplido su vida útil.
4. El régimen de operación del banco de hielo deber ser de preferencia en la noche (de 17 a 7 horas) cuando no se está pasteurizando, de modo que en el día consuma todo el frío guardado en la noche en el banco de hielo.
5. El aislar con lana de vidrio de 2" de espesor, y sellar ya sea con pared de madera o ladrillo el banco de hielo; evitando en lo posible toda entrada de aire y sol hará de este, un sistema mas eficiente tanto termicamente como económicamente.
6. Se deben aislar las líneas de succión y descarga (lana de vidrio de 1" de espesor) para evitar posibles sobrecalentamiento o subenfriamiento del refrigerante respectivamente. Ya que con esto se puede asegurar un desempeño constante del equipo.
7. Se debe mantener todas las superficies del equipo lo mas limpias que se puedan, ya que las suciedades como algas o lodo impidan con una buena transferencia de calor y por lo tanto un desempeño eficiente del sistema, ya que pueden obstruir la libre circulación del fluido.
8. Se debe realizar un programa de mantenimiento preventivo para el sistema de refrigeración, ya que esto permitirá al equipo funcionar dentro de los parámetros recomendados en esta auditoría.

9. Para mantener la eficiencia del ciclo de refrigeración en los valores propuestos en este proyecto, es necesario que el personal de mantenimiento conozca sobre los parámetros que rigen el sistema de refrigeración.
10. Se debe reducir el volumen de agua en el banco de hielo en un 35%, ya que con esto a más de reducir la carga térmica de enfriamiento se reduce el consumo eléctrico del compresor.
11. El implementar las mejoras propuestas para el sistema de refrigeración de amoníaco no solo traerá reducción de energía en el compresor, sino también, en elementos auxiliares del sistema como: bomba y ventilador del condensador evaporativo.
12. Para corregir el factor de potencia es recomendable la instalación de una batería de condensadores, lo cual trae importante ahorros económicos para la empresa. En este sentido se debe instalar un batería de 117 kVA para corregir el factor de potencia desde 0.72 hasta 0.97.
13. El dotar de los conductores y protectores como los propuestos en esta auditoría permitirá la no paralización de motores por falla en fases por ejemplo. Las protecciones de los motores tienen que ser norma UL ya que estos trabajan con tres veces su amperaje, lo cual reduce el recalentamiento y tienen una larga vida útil.
14. El dotar de los niveles de iluminación y cambio de luminarias recomendados en este trabajo hará de los puestos de trabajo lugares más seguros y ergonómicamente saludables. En este sentido se recomienda cambiar todas las lámparas incandescentes por focos ahorrados, acorde a lo propuesto en este trabajo.
15. La sostenibilidad del ahorro energético en el sistema de generación y distribución de vapor en el tiempo, es posible únicamente a través de un monitoreo instrumentado periódico de los gases de combustión.
16. Se debe reducir el tiempo de desinfección con vapor de los tanques de almacenamiento de leche a 5 minutos o menos de ser posible.

17. Es conveniente reemplazar empaques y accesorios de la red de vapor que estén en mal estado, a fin de eliminar las fugas de vapor que existen. Ya que una fuga de vapor consume vapor todo el tiempo.
18. Se debe realizar un mantenimiento e inspección periódico de las trampas de vapor, a través de ultrasonidos para detectar trampas en mal estado. Con esto se consigue mejorar la tasa de retorno del condensado, con lo cual se estaría elevando la temperatura del agua de alimentación de la caldera.
19. Se debe reducir la presión de trabajo de la caldera (de 85 a 65 psig), ya que según los procesos que se llevan a cabo en Industria Carchi en ninguno de ellos sobrepasa los 100 °C de temperatura. La empresa debería ir reduciendo poco a poco la temperatura hasta encontrar un valor mínimo que no afecto a los procesos que requieren vapor.
20. Para que la caída de presión se mantenga dentro de los límites permitidos en el sistema de aire comprimido, la tubería de suministro que llega a la máquina Thimonnier se ser de 2" de diámetro.
21. Se debe realizar un chequeo de fugas en la red de aire y repararlas lo más prontamente posible, ya que estas aire todo el tiempo.

ANEXO A

**PLANOS ACTUALES DE INDUSTRIA LECHERA
CARCHI S.A**

ANEXO B

**RECOLECCIÓN DE DATOS DE SISTEMAS
AUDITADOS EN INDUSTRIA LECHERA
CARCHI S.A**

ANEXO C

GRAFICAS Y TABLAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

ANEXO D

**CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIA
ACTIVA TOTAL DE LOS RECEPTORES DE ENERGÍA
ELECTRICA E ILUMINACIÓN MEDIA ACTUAL EN
INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A.**

ANEXO E

**TABLAS, SELECCIÓN CALIBRE CONDUCTOR,
SELECCIÓN CONTACTOR ELECTROMAGNÉTICO
PARA LOS RECEPTORES DE ELECTRICIDAD Y
NÚMERO DE LÁMPARAS FLUORESCENTES POR
ÁREAS DE INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A.**

ANEXO F

**TABLAS DE PROPIEDADES PARA EL ANALISIS DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
VAPOR**

ANEXO G

**PÉRDIDAS DE CALOR EN EL SISTEMA DE
GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR ACTUAL Y
PROPUESTA**

ANEXO H

**CÁLCULO DE TRABAJO MÁXIMO Y DE EXERGÍA EN
EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
VAPOR**

ANEXO I

**GRÁFICAS Y TABLAS PARA EL ANÁLISIS DEL
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO**

ANEXO J
PLANOS PROPUESTOS PARA INDUSTRIA LECHERA
CARCHI S.A

ANEXO K

CANTIDAD Y COSTO DEL AISLANTE PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DE ILCSA

ANEXO L

COSTOS DEL PROYECTO DE FACTIBILIDAD

ANEXO M
COSTOS DE OPERACIÓN

ANEXO N
CRONOGRAMA DE INVERSIONES

ANEXO O

**CARTA DE SATISFACCIÓN POR PARTE DE INDUSTRIA
LECHERA CARCHI S.A, ILCSA.**

REFERENCIAS

ROY J. DOSSAT, Principios de refrigeración, Traducido del inglés por Copyright by Trans. Edition, 2ª Edición, México, Compañía Editorial Continental S.A, 1997, 592 pp.

BORROTO N.A, Gestión Energética en Sistemas Térmicos, Ecuador, 2007, pp 73.

CANALA CABLES, Guía Para el Profesional de la Electricidad, Quito-Ecuador,.

GARCIA. J, Electrotecnia, 2ª edición, España, Paraninfo, 2001, 320 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA (INE)- COMISIÓN DE COMUNIDADES EUROPEAS (CCE), Tecnología de la Combustión: Programa de Capacitación en Gerencia de la Energía en la Industria, Quito-Ecuador, pp 65.

CENGEL, Y y BOLES M, Termodinámica, Traducido del ingles por Carlos Roberto Cordero Pedraza, 5ª edición, México, McGraw-Hill, 2006, 990 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA (INE), Cursos de Conservación de la Energía en la Industria, Quito-Ecuador, 1989, pp 411.

HOLMAN, J.P, Transferencia de calor. Traducido del inglés por Paúl Valenzuela, primera edición, México, Editorial Continental, 1986, 208-319 pp.

INCROPERA. F, Fundamentos de Transferencia de calor, traducido del ingles por Ricardo cruz, 2ª edición, México, Editorial Prentice Hall, 10-515 pp.

HUANG, F, Ingeniería Termodinámica: Fundamento y aplicación, Traducido del inglés por Jaime Cervantes de Gortari, 2ª edición, México, Editorial Continental, 1997, 500 pp.

JONES. J.B. y DUGAN. R.E, Engineering Thermodynamics, 3ª edición, United States of América, Editorial Prentice Hall, 1996, 915-940 pp.

KOHAN A.L, Manual de calderas, Traducido del ingles por Claudio Míguez Gómez, 2ª edición, España, Editorial McGraw Hill, 2000, pp 47 – 365.

SONNTAG R y VAN WYLEN G, introducción ALA Termodinámica Clásica y Estadística, Traducida del inglés por Francisco Paniagua, 6ª edición, México, Editorial Limusa, 1991, pp 480.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA – INSITITO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ANERGÍA, Manuales Técnicos y de Instrucción para Conservación de Energía, Madrid- España, 200p.

MOTT R, Mecánica de Fluidos Aplicada, Traducida del ingles por Carlos Roberto Cordero, 4ª edición , México, Editorial Prentice hall, 1996, pp 480.

BACA G, Evaluación de Proyectos, 4ª edición, México, Editorial McGraw Hill, 2001, 382 p.

GARCÍA S, Organización y Gestión Integral de Mantenimiento, Primera edición, Madrid-España, Editorial Díaz de Santos S.A, 2003, pp 39.

MAYEKAWA MFG. CO. LDT, Mycom Reciprocating Compressor Manual, Tokyo-Japan, 78 p.

FOOD AND WATER TECHNOLOGIES INC, Manual de Operación del Pasteurizador H.T.S.T Modelo 5000, Estados Unidos, 2002, 20 p.

ASOCIACIÓN PARA LA INVERTIGACIÓN Y DIAGNOSIS DE LA ENERGÍA, Manual de Auditorías Energéticas, Primera edición, Madrid-España, 2003, 222 p.

TESIS

VILLACIS L.F, Auditoría exergética en el área de estampación y en las calderas del área de tintorería de la empresa Textil Ecuador S.A, Tesis Ing. Mec. Sangolquí, Escuela Politécnica del Ejército, facultad de Ingeniería Mecánica, 2006, pp154-166.

CARDOSO O.F, Auditoría exergética del sistema de refrigeración de cervecería Andina S.A, Tesis Ing. Mec. Sangolquí, Escuela Politécnica del Ejército, facultad de Ingeniería Mecánica, 2002, pp 87-97.

DIRECCIONES DE INTERNET

www.camaramadrid.es Cámara oficial de comercio de industria de Madrid.

www.mcyt.es Ministerio de Ciencia y tecnología.

www.idae.es IDEA, Instituto Para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

www.cne.es

CNE, Comisión nacional de Energía.

www.energuía.com

Guía de energía

www.eia.doe.gov/emeu/iea

Internatinal energy Annual.

www.conae.es

CONEA, Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía.