

**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**AUDITORIA EXERGÉTICA DE LA PLANTA EMPAQPLAST S.A.**

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

**PABLO JAVIER TOLEDO DELGADO**

**DIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA**

**CODIRECTOR: ING. ADRIÁN PEÑA**

**Sangolquí 2005-11-07**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DE PROYECTO**

El proyecto titulado “AUDITORÍA EXERGÉTICA DE LA PLANTA EMPAQPLAST S.A.” fue realizado en su totalidad por el Sr. Pablo Javier Toledo Delgado, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

Ing. Ernesto Soria  
DIRECTOR

---

Ing. Adrián Peña.  
CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-Septiembre-05

# **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“AUDITORIA EXERGÉTICA DE LA PLANTA EMPAQPLAST S.A.”

**ELABORADO POR:**

---

Pablo Javier Toledo Delgado

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

Ing. Edgar M. Pazmiño B.  
Mayo. de E.M.C.

**Decano**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis Padres Marco y Carmita a quienes amo con todo mi ser y a mis hermanos Marco y Andrea, quienes juntos como familia estuvieron a mi lado, no solamente durante la elaboración del proyecto, sino durante toda mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios que me dio la capacidad y fuerza necesarias para que este proyecto culmine de la mejor manera.

Agradezco a EMPAQPLAST S.A. una gran empresa en la que viví mi primera experiencia laboral y donde todo el personal me brindó su ayuda a cada momento.

Agradezco al Ing. Alex Tobar J. Gerente de Mantenimiento de EMPAQPLAST S.A., cuya ayuda fue invaluable para la exitosa finalización del proyecto.

Agradezco al Ing. Ernesto Soria y al Ing. Adrián Peña por todo su interés y colaboración en el proyecto.

# INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1 RESUMEN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 GENERAL.....	4
1.4.2 ESPECÍFICOS.....	5
1.5 ALCANCE.....	5
CAPÍTULO II	
SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL EN EL ECUADOR	
2.1 UTILIZACIÓN ADECUADA DE LA ENERGÍA A NIVEL MUNDIAL.....	7
2.2 IMPORTANCIA, PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LA ENERGÍA EN EL ECUADOR.....	9
2.3 CONSERVACIÓN Y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA.....	13
2.4 FACTIBILIDAD DE CONSERVACIÓN Y USO DE LA ENERGÍA.....	14
2.5 ACTIVIDADES DE USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN EL ECUADOR.....	15
CAPÍTULO III	
DESARROLLO DE UNA AUDITORIA EXERGÉTICA	
3.1 INTRODUCCIÓN A LAS AUDITORIAS EXERGÉTICAS.....	19
3.2 MEDIOS MATERIALES PARA LAS AUDITORIAS.....	21
3.2.1 MEDIDAS ELÉCTRICAS.....	21
3.2.2 MEDIDAS PARA INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN.....	21
3.2.3 OTROS INSTRUMENTOS Y MEDIOS.....	22
3.3 CÁLCULOS ECONÓMICOS.....	22
3.3.1 DATOS DE PARTIDA.....	22
3.3.2 RATIOS DE RENTABILIDAD INMEDIATOS.....	23
3.3.3 INDICE DE RENDIMIENTO INDIRECTO.....	23
3.4 FORMULARIO PARA EL DESARROLLO DE LAS AUDITORIAS EXERGÉTICAS.....	25
3.4.1 INSTRUCCIONES GENERALES.....	25
3.4.2 EXPLICACIÓN DEL FORMULARIO.....	26
3.4.3 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	27

3.4.4	CUMPLIMIENTO DEL FORMULARIO.....	27
3.5	APLICACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA AUDITORIA.....	28
3.5.1	MEJORAS PRÁCTICAS.....	28
3.5.2	BENCHMARKING.....	29
CAPÍTULO IV		
AUDITORIA PRELIMINAR		
4.1	OBJETIVO DE LA AUDITORIA PRELIMINAR.....	31
4.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA.....	32
4.3	RECOPIACIÓN DE DATOS EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA.....	48
4.3.1	CONSUMO DE ENERGÍA.....	48
4.3.2	COSTO DE ENERGÍA.....	70
4.3.3	DATOS DE PRODUCCIÓN.....	77
4.4	EVALUACIÓN DE LA PLANTA.....	80
CAPÍTULO V		
AUDITORIA DETALLADA		
5.1	OBJETIVOS.....	81
5.1.1	OBJETIVO GENERAL.....	82
5.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	82
5.2	INFORMACIÓN DE SISTEMAS Y/O EQUIPOS DE MAYOR CONSUMO ENERGÉTICO.....	83
5.2.1	PLANTA 1.....	83
5.2.2	PLANTA 2.....	88
5.3	ANÁLISIS DETALLADO DE SISTEMAS Y/O EQUIPOS DE MAYOR CONSUMO ENERGÉTICO.....	94
5.3.1	PLANTA 1.....	94
5.3.2	PLANTA 2.....	99
5.4	PROCESAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	103
5.4.1	CÁLCULO DE ENERGÍA CONSUMIDA.....	103
5.4.2	CÁLCULO DE ENERGÍA NECESARIA.....	103
5.4.3	ANÁLISIS DE CONSUMO.....	103
5.4.4	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS.....	104
5.5	RECOMENDACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE PARA OPTIMIZAR EL AHORRO DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	105
	AISLANTE TÉRMICO.....	105
	FACTOR DE POTENCIA.....	115
	INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	121
CAPITULO VI		
ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO		
6.1	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	129
6.2	ANÁLISIS FINANCIERO.....	133

CAPITULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1 RESULTADOS GENERALES.....	137
7.2 CONCLUSIONES.....	138
7.3 RECOMENDACIONES.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	143
ANEXOS	145



## INDICE DE FIGURAS

Figura No 2.1	Producción Energía Primaria 2002.....	10
Figura No 2.2	Producción Neta de Energía Primaria.....	11
Figura No 2.3	Producción Energía Secundaria 2002.....	12
Figura No 2.4	Consumo Final Energético 2002.....	13
Figura No 4.1	Diagrama del Proceso de Inyección.....	33
Figura No 4.2	Diagrama del Proceso de Soplado Convencional.....	36
Figura No 4.3	Diagrama del Proceso de Soplado Biorientado.....	37
Figura No 4.4	Estaciones del Proceso de Soplado para PET.....	39
Figura No 4.5	Diagrama del proceso de Extrusión.....	41
Figura No 4.6	Diagrama de Trabajo de la torre de enfriamiento.....	44
Figura No 4.7	Succión y Compresión del aire.....	45
Figura No 4.8	Diagrama de Proceso del Chiller.....	46
Figura No 4.9	Capacidad Instalada – Planta 1.....	50
Figura No 4.10	Capacidad Instalada – Sección de Inyección (Planta 1).....	51
Figura No 4.11	Capacidad Instalada – Soplado PET (Planta 1).....	51
Figura No 4.12	Capacidad Instalada – Soplado Convencional.....	52
Figura No 4.13	Capacidad Instalada – Soplado Biorientado.....	53
Figura No 4.14	Capacidad Instalada – Equipos Auxiliares (Planta 1).....	53
Figura No 4.15	Capacidad Instalada – Chillers (Planta 1).....	54
Figura No 4.16	Capacidad Instalada – Compresores (Planta 1).....	55
Figura No 4.17	Capacidad Instalada – Planta 2.....	56
Figura No 4.18	Capacidad Instalada – Extrusión.....	57
Figura No 4.19	Capacidad Instalada – Flexografía.....	57
Figura No 4.20	Capacidad Instalada – Inyección (Planta 2).....	58
Figura No 4.21	Capacidad Instalada – Soplado PET (Planta 2).....	59
Figura No 4.22	Capacidad Instalada – Equipos Auxiliares (Planta 2).....	59
Figura No 4.23	Capacidad Instalada – Chillers (Planta 2).....	60
Figura No 4.24	Capacidad Instalada – Compresores (Planta 2).....	61
Figura No 4.25	Consumo de Energía por meses Kw-h (Planta 1).....	63
Figura No 4.26	Consumo de Energía por meses GJ (Planta 1).....	64
Figura No 4.27	Consumo de Energía según horarios de tarifa (Planta 1)...	65
Figura No 4.28	Consumo de Energía por meses Kw-h (Planta 2).....	67
Figura No 4.29	Consumo de Energía por meses GJ (Planta 2).....	68
Figura No 4.30	Consumo de Energía según horarios de tarifa (Planta 2)...	69
Figura No 4.31	Costo de consumo de energía eléctrica (Planta 1).....	71
Figura No 4.32	Costo Kw-h por meses (Planta 1).....	72
Figura No 4.33	Costo GJ por mes (Planta 1).....	73
Figura No 4.34	Costo de consumo de energía eléctrica (Planta 2).....	74
Figura No 4.35	Costo Kw-h por meses (Planta 2).....	75
Figura No 4.36	Costo GJ por meses (Planta 2).....	76
Figura No 5.1	Consumo Energético por procesos de producción.....	83
Figura No 5.2	Consumo energético – Inyección.....	84
Figura No 5.3	Consumo energético – Soplado convencional.....	85
Figura No 5.4	Consumo energético – Soplado biorientado.....	85
Figura No 5.5	Consumo energético – Soplado PET.....	86

Figura No 5.6 Consumo energético – Equipos auxiliares.....	86
Figura No 5.7 Consumo energético – Compresores.....	87
Figura No 5.8 Consumo energético – Chillers.....	87
Figura No 5.9 Consumo energético por sectores (Planta2).....	88
Figura No 5.10 Consumo energético – Inyección.....	89
Figura No 5.11 Consumo energético – Extrusión.....	90
Figura No 5.12 Consumo energético – Flexografía.....	90
Figura No 5.13 Consumo energético – Soplado .....	91
Figura No 5.14 Consumo energético – Equipos auxiliares.....	92
Figura No 5.15 Consumo energético – Chillers.....	92
Figura No 5.16 Consumo energético – Compresores.....	93
Figura No 5.17 Esquema de toma de temperaturas.....	105
Figura No 5.18 Cabezal de inyección con aislante.....	112

## INDICE DE TABLAS

Tabla No. 2.1	Oferta neta de Energía Primaria.....	10
Tabla No. 2.2	Oferta Total de Energía Secundaria.....	12
Tabla No. 2.3	Consumo Energético por sectores 2002.....	12
Tabla No. 4.1	Datos de Consumo de Energía Eléctrica (Planta 1).....	62
Tabla No. 4.2	Datos de Consumo de Energía Eléctrica (Planta 2).....	66
Tabla No. 4.3	Datos de Producción sección de inyección (Planta 1).....	77
Tabla No. 4.4	Datos de producción soplado convencional.....	77
Tabla No. 4.5	Datos de producción soplado biorientado.....	78
Tabla No. 4.6	Datos de producción soplado PET (Planta 1).....	78
Tabla No. 4.7	Datos de producción Inyección (Planta 2).....	78
Tabla No. 4.8	Datos de producción soplado PET (Planta 2).....	78
Tabla No. 4.9	Datos de producción extrusión.....	78
Tabla No. 4.10	Datos de Producción Flexografía.....	78
Tabla No. 5.1	Datos VI 35 (medidos).....	95
Tabla No. 5.2	Datos PC (medidos).....	96
Tabla No. 5.3	Datos BK 02 (medidos).....	96
Tabla No. 5.4	Datos CO 06 (medidos).....	97
Tabla No. 5.5	Datos CH 11 (medidos).....	97
Tabla No. 5.6	Factor de Potencia medido – Inyección (Planta 1).....	98
Tabla No. 5.7	Factor de Potencia medido – Biorientado y PET (Planta 1)	98
Tabla No. 5.8	Factor de Potencia medido – Soplado Convencional.....	98
Tabla No. 5.9	Factor de Potencia medido – Eq Auxiliares (Planta 1).....	99
Tabla No. 5.10	Datos INY 220 – Inyección (Planta 2).....	99
Tabla No. 5.11	Datos EX 02 – Extrusión.....	100
Tabla No. 5.12	Datos FLEX 01 – Flexografía.....	100
Tabla No. 5.13	Datos SPL 1000 y AK 03 – Soplado PET (Planta 2).....	100
Tabla No. 5.14	Datos CH 01, CH 02 y CH 320 – Chillers (Planta 2).....	101
Tabla No. 5.15	Datos CO 03 y CO 04 – Compresores (Planta 2).....	101
Tabla No. 5.16	Factor de Potencia medido – Inyección y extrusión.....	101
Tabla No. 5.17	Factor de Potencia medido – Soplado y Eq Auxiliares.....	102
Tabla No. 5.18	Cálculo del coeficiente de conductividad térmica.....	107
Tabla No. 5.19	Cálculo de la viscosidad cinemática.....	107
Tabla No. 5.20	Cálculo del número de Prandtl.....	108
Tabla No. 5.21	Cálculo de la Difusividad Térmica.....	109
Tabla No. 5.22	Temperatura en la superficie del cabezal de inyección.....	114
Tabla No. 5.23	Calor perdido en el cabezal de inyección.....	114
Tabla No. 5.24	Temperatura de salida del fluido frío.....	117
Tabla No. 5.25	Factores de corrección para LMTD.....	119
Tabla No. 5.26	LMTD corregido.....	120
Tabla No. 5.27	Valores de área, longitud y coeficiente de conductividad...	121
Tabla No. 5.28	Pérdidas en el alimentador.....	124
Tabla No. 5.29	KVAR del capacitor.....	125
Tabla No. 5.30	Corriente y potencia aparente.....	126
Tabla No. 5.31	Energía Total ahorrada (anual).....	127
Tabla No. 6.1	Costos directos.....	131
Tabla No. 6.2	Costos indirectos.....	132
Tabla No. 6.3	Costos totales.....	132

## **ANEXOS**

ANEXO 1	FORMULARIO PARA LA AUDITORIA.
ANEXO 2	PROCESOS DE PRODUCCIÓN.
ANEXO 3	DATOS DE PLACA DE LOS EQUIPOS Y COSTOS DE ENERGÍA.
ANEXO 4	TOMA DE DATOS PLANTA 1.
ANEXO 5	TOMA DE DATOS PLANTA 2.
ANEXO 6	TEMPERATURAS Y RESULTADOS – AISLANTE TÉRMICO
ANEXO 7	RESULTADOS Y TABLAS – INTERCAMBIADOR DE CALOR.
ANEXO 8	PLANOS Y DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN.

# NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
$C_{p_c}$	Calor específico del agua	[J/Kg <sup>o</sup> K]
$C_{p_h}$	Calor específico del aceite	[J/Kg <sup>o</sup> K]
$h$	Coefficiente de transferencia de calor por convección	[W/m <sup>2o</sup> K]
$h_o$	Coefficiente de convección del aceite	[W/m <sup>2o</sup> K]
$I$	Corriente eléctrica	[A]
$K$	Constante	[adim]
$k$	Coefficiente de conductividad térmica	[W/m <sup>o</sup> K]
$k_h$	Conductividad térmica del aceite	W/m <sup>o</sup> K
$k_c$	Conductividad térmica del agua	W/m <sup>o</sup> K
$m_h$	Flujo másico del aceite	GPM
$m_c$	Flujo másico del agua	GPM
$N$	Número de tubos	[adim]
$Nu$	Número de Nusselt	[adim]
$P$	Potencia activa	[W]
$Pr$	Número de Prandtl	[adim]
$Q$	Energía reactiva	KVAR
$q_T$	Calor total perdido en el cabezal de inyección	[W/m]
$q_c$	Calor perdido por convección	[W/m]
$q_R$	Calor perdido por radiación	[W/m]
$Q_T$	Transferencia de calor total	W
$R$	Resistencia eléctrica	[ $\Omega$ ]
$Ra$	Número de Rayleigh	[adim]
$Re$	Número de Reynolds	[adim]
$S$	Potencia aparente	KVA
$T_a$	Temperatura Ambiente	[ <sup>o</sup> C]
$T_s$	Temperatura en la superficie del cabezal	[ <sup>o</sup> C]
$T_f$	Temperatura promedio entre $T_s$ y $T_a$ .	[ <sup>a</sup> K]
$T_{h_i}$	Temperatura de entrada del aceite	[ <sup>o</sup> C]
$T_{h_o}$	Temperatura de salida del aceite	[ <sup>o</sup> C]
$T_{c_i}$	Temperatura de entrada del agua	[ <sup>o</sup> C]

$T_m$	Temperatura media absoluta	[°K]
$U$	Coeficiente global de transferencia de calor	[W/m <sup>2</sup> °K]
$\alpha$	Difusividad térmica	[m <sup>2</sup> /s]
$\beta$	Coeficiente de expansión térmica volumétrica	°K <sup>-1</sup>
$\varepsilon$	Coeficiente de emisividad	[adim]
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	[W/m <sup>2</sup> °K <sup>4</sup> ]
$\Phi$	Diámetro del cabezal de inyección	[mm]
$\mu_h$	Viscosidad dinámica del aceite	Ns/m <sup>2</sup>
$\mu_c$	Viscosidad dinámica del agua	Ns/m <sup>2</sup>
$\nu$	Viscosidad cinemática	[m <sup>2</sup> /s]