

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"MEJORAMIENTO DE HORNO DE SECADO DE LÁMINAS
PARA ENVASES METÁLICOS DE ALIMENTOS"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Jhonny Fernando Rodríguez Jara

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros
agradecimientos a mis
compañeros de trabajo que
colaboraron haciendo posible
este proyecto.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi esposa, por cuidarme y darme fortaleza para poder seguir adelante.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph.D Emérita Delgado Plaza Ph.D Juan Peralta Jaramillo

VOCAL

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Jhonny Fernando Rodríguez Jara

RESUMEN

En la fabricación de envases metálicos el proceso de barnizado es un punto crítico de control importante por su papel en la protección del envase frente al producto y viceversa.

El presente trabajo es un resumen de las actividades efectuadas como integrante de un proyecto para optimizar la línea de barnizado de láminas de uso general para poder procesar láminas para envases de alimentos cumpliendo los requerimientos de control de calidad.

Entre los problemas identificados están la variación de temperaturas en la superficie de la lámina y la falta de caudal de aire caliente dentro del horno de secado. Los componentes principales fueron analizados, verificando en base a los manuales o recomendaciones del fabricante del horno, dando solución a los problemas encontrados.

Se logró optimizar el horno de secado según el objetivo planteado con una relativamente baja inversión en equipos. El resultado fue un beneficio económico muy superior a las expectativas, tanto por el aumento de la producción de lámina barnizada como por el ahorro por la disminución del consumo de gas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGÍA	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
PRELIMINARES Y METODOLOGÍA IMPLEMENTADA	3
1.1 Proceso de fabricación de envases metálicos	3
1.2 Proceso de barnizado y secado	5
1.3 Sistema de calefacción y de conducción de aire	6
1.4 Control de calidad de la lámina curada	10
1.5 Descripción del contexto actual	12
1.6 Objetivo	15
1.7 Metodología	15
CAPÍTULO 2	18
SOLUCIONES PROPUESTAS	18
2.1 Análisis de curvas de temperatura	18
2.2 Solución a problemas de falta de caudal de aire	21

2.3 Solución a los problemas del quemador	23
2.4 Cálculo de la cantidad de aire de salida	24
2.5 Control de calidad del producto final	25
CAPÍTULO 3	28
RESULTADOS	28
3.1. Inversión en modificaciones	28
3.2. Beneficios económicos	28
CAPÍTULO 4	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
4.1 Conclusiones	32
4.2 Recomendaciones	33
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

BCE	Banco Central del Ecuador
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FOB	Franco a bordo
TFS	Lámina de acero cromada (Tin Free Steel)
USD	Dólares Americanos
VBG	Norma seguridad alemana

SIMBOLOGÍA

%	Por ciento, porcentaje
% UL	Porcentaje de utilización de línea
\$	Dólares Americanos
°C	Grados centígrados
8D	8 Disciplinas
CFM	Pies cúbicos por minuto
env	Envases
\dot{G}_{max}	Cantidad máxima de solvente
hr	Horas
kg	Kilogramo
kw	Kilowatt
lam	Láminas
m	Metro
m ³	Metro cúbico
máx	Máximo
mín	Mínimo
min	Minuto
mm	Milímetro
pulg	Pulgadas
\dot{Q}	Caudal
RPM	Revoluciones por minuto

solv	Solvente
ton	Toneladas métricas
V	Voltios
Vel	Velocidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo del proceso de fabricación de envases metálicos embutidos.	4
Figura 2. Esquema del horno.....	7
Figura 3. Sección transversal vertical de zona de calentamiento del horno.....	8
Figura 4. Esquema de la circulación de aire en el horno de secado.....	9
Figura 5. Puntos de medición de temperatura en una lámina.....	10
Figura 6. Curva ideal de temperatura.	11
Figura 7. Metodología 8D	17
Figura 8. Curvas históricas de temperatura	19
Figura 9. Quemador de dos etapas.	20
Figura 10. Motor y ventilador de aire caliente zona de cocción.	22
Figura 11. Quemador modulativo de una etapa.....	23
Figura 12. Curva de temperatura luego de la mejora.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Detalle del horno de secado	7
TABLA 2 Detalle del interior del horno	9
TABLA 3 Exportaciones Ecuatorianas de Conservas de Pescado	12
TABLA 4 % Utilización línea de barnizado año 2012.....	14
TABLA 5 Registro de tiempos y temperaturas	21
TABLA 6 Características del motor del ventilador de aire.....	21
TABLA 7 Valores de temperaturas y tiempos de curado	26
TABLA 8 Inversión realizada	28
TABLA 9 Ahorro por consumo de gas en un año	29
TABLA 10 Producción mensual lámina barnizada sanitaria	30
TABLA 11 Ahorro por producir localmente	31

INTRODUCCIÓN

El trabajo que se muestra a continuación se desarrolla en una empresa dedicada a la fabricación de tapas y envases metálicos para la industria en general.

La empresa venía utilizando sus líneas de barnizado de láminas al límite de utilización de horas de máquina. Mientras existe una línea de barnizado no apta para procesar láminas destinadas a envases de alimentos porque no cumple los requisitos de secado de lámina determinados en la curva de temperaturas y tiempos de curado lo cual no garantiza que la película de protección cumpla las propiedades de resistencia requeridas para contener alimentos. Este problema se tornó mayor a medida que el crecimiento de la demanda de envases para conserva de pescado llevó a importar lámina barnizada con costos y recargos adicionales que elevan los gastos de operación.

El objetivo principal de este proyecto es optimizar el sistema de secado de la línea de barnizado mediante la mejora de los equipos con mejores prestaciones para poder cumplir los requerimientos de control de calidad para el curado de láminas sanitarias.

En el capítulo 1 se describe el proceso de fabricación de envases metálicos, se hace un detalle del proceso de barnizado y los requerimientos de aceptación de una lámina barnizada, el contexto y situación de demanda de mercado, los problemas encontrados, el objetivo principal y la metodología de solución.

En el capítulo 2 se detalla los procedimientos y resultados obtenidos, las soluciones propuestas para optimizar el proceso de secado, la corrección de los tiempos y temperatura de curado.

En el capítulo 3 se hace un análisis de los beneficios económicos del proyecto.

Finalmente se concluye y se recomienda a partir de los resultados obtenidos.

CAPITULO 1

PRELIMINARES Y METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

1.1 Proceso de fabricación de los envases metálicos

El proceso inicia (ver *Figura 1*) con la materia prima que es la bobina de lámina de acero recubierta con cromoTFS (Tin Free Steel) que es cortada en hojas que varían en ancho y largo según las medidas del envase a fabricar. Esto se lleva a cabo con una cizalla automática. Luego las láminas cortadas son dispuestas en bultos de tal manera que permite su traslado y manejo en las siguientes fases del proceso.

La siguiente etapa es la preparación de lámina con el barnizado que consiste en aplicar sobre la hoja cortada una o más capas de un recubrimiento de protección interna e incluso también externa. Esta protección se consigue por medio de barnices que en general se diferencian en las condiciones de aplicación ya que las demandas a cubrir son diferentes, siendo más exigentes las requeridas para la protección interior.

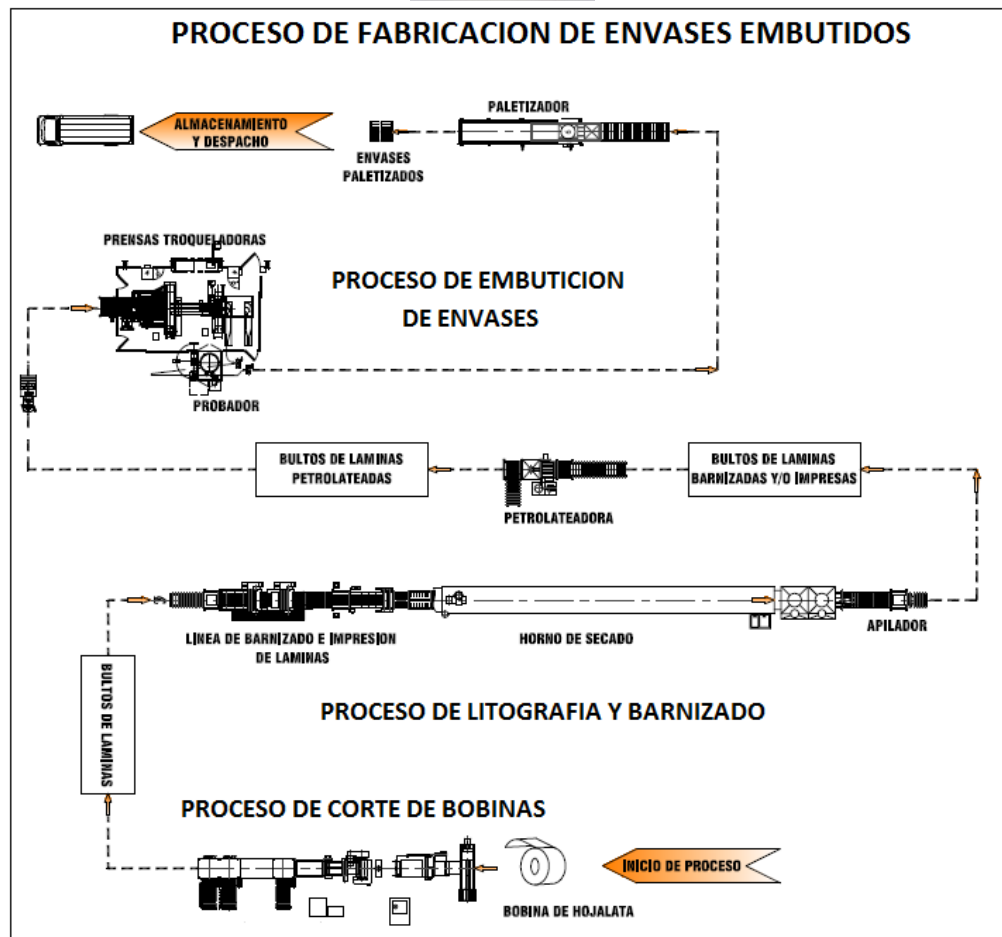


Figura 1. Flujo del proceso de fabricación de envases metálicos embutidos.

Luego los cuerpos de los envases se fabrican normalmente en una de dos maneras: o bien a partir de una sola pieza de metal, como en el caso de los envases embutidos, o fabricados a partir de un cilindro y una serie de componentes, como en el caso de los envases soldados de tres piezas.

1.2 Proceso de barnizado y secado

Para el proceso de barnizado básicamente existen tres tipos de barniz en función de la finalidad que tiene que cumplir:

Barniz interior: sirve para proteger el interior del envase de la agresividad del producto a contener.

Si van a estar en contacto con alimentos se denominan barnices sanitarios.

Barniz exterior: sirve para proteger la hojalata contra la manipulación, humedad, medio ambiente y otros productos que puedan estar en contacto con el exterior del envase.

Barniz exterior de litografía: sirve de base a la impresión decorativa.

Los barnices se aplican en forma líquida y consisten, en términos simples, en una solución de una mezcla de resinas (polímeros termocurables), capaces de formar películas, en un conjunto de solventes orgánicos con sus aditivos correspondientes (plastificantes, catalizadores, lubricantes, etc.)

Idealmente deberíamos distinguir entre curado y secado aunque el resultado final es superficialmente similar en cuanto se consigue una película seca al tacto. Determinaremos como secado únicamente a la pérdida de solventes hasta dejar una película seca. Mientras que curado puede determinarse como una reacción que

generalmente implica un entrecruzamiento químico de la estructura de los polímeros que le confieren una gran resistencia química, insolubilidad y dureza.

La aplicación del barniz se hace en una máquina barnizadora mediante un par de rodillos donde uno de ellos está impregnado del barniz a aplicar. Con los adecuados ajustes se controla el espesor del recubrimiento aplicado.

A continuación las láminas son transportadas por medio de un transportador a la entrada del horno, el cual está diseñado para colocar las láminas entre las parrillas mientras están en posición horizontal tan suavemente como sea posible a fin de evitar daños en el borde delantero de la lámina. Las láminas apoyadas en su superficie seca no barnizada sobre las parrillas se mueven hacia la vertical para ser transportadas a través de las zonas de calentamiento y la sección de enfriamiento antes de ser descargadas en una pila de láminas calientes pero secas.

Las condiciones de curado son variables según el tipo de resina usada. Las resinas base más utilizadas son las epoxi-fenólicas que, dependiendo de la relación entre resinas, curan entre 190°C y 204°C a un tiempo entre 10 y 12 minutos (ver **Apéndice A**).

1.3 Sistema de calefacción y de conducción de aire

El medio utilizado para el calentamiento de las láminas barnizadas es la convección por aire caliente. Este aire escalentado por quemadores que operan alimentados con gas licuado de petróleo directamente a la entrada de los ventiladores de las zonas

decalentamiento. En la *Figura 2* y la *Tabla 1* se muestra el esquema y detalle del horno.

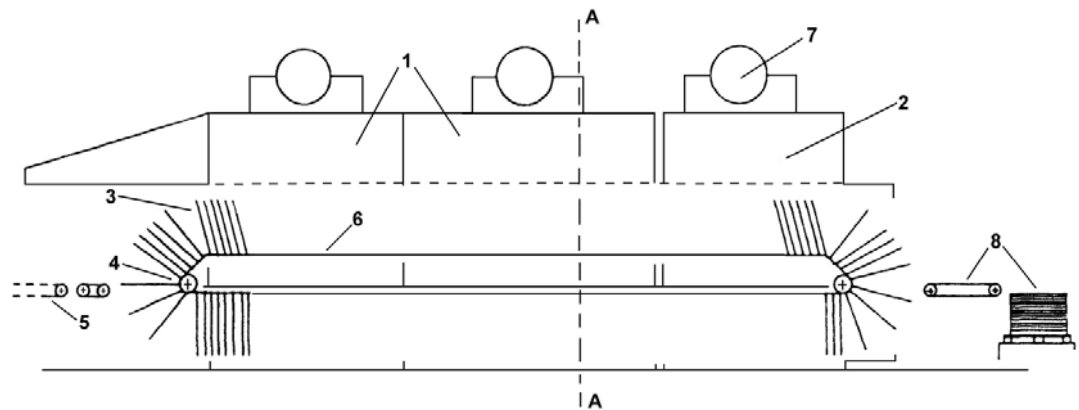


Figura 2. Esquema del horno.

Fuente: Canmaking(1998).

TABLA 1

Detalle del horno de secado

1.	Zonas de calentamiento
2.	Zona de enfriamiento
3.	Parrillas
4.	Piñón de arrastre
5.	Transportador de alimentación
6.	Cadena del horno
7.	Ventilador
8.	Transportador de salida al apilador

La zona de calentamiento 1 es conocida como zona de calefacción y su finalidad es calentar con rapidez a la temperatura nominal las láminas metálicas, parrillas y sistema de transporte. En la zona 2 o zona de cocción se mantiene esta temperatura alcanzada.

La construcción interior del horno se puede demostrar considerando una sección transversal (corte AA en la *Figura 2*), que se muestra en la *Figura 3* y el detalle en la *Tabla 2*.

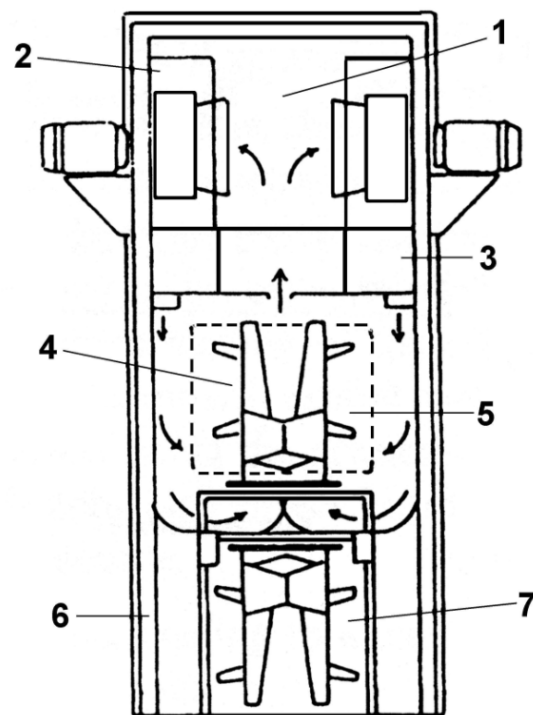


Figura 3. Sección transversal vertical de zona de calentamiento del horno.

Fuente: Canmaking(1998).

Por otro lado, el aire caliente es transportado a los canales de aire caliente por el ventilador de aire de circulación (ver *Figura 4*). A través de toberas el aire caliente es conducido al túnel de secado y chapas guía en las paredes laterales distribuyen la corriente de aire uniformemente por la sección del túnel.

TABLA 2
Detalle del interior del horno

1.	Zona de calentamiento
2.	Ventilador de circulación
3.	Ducto de circulación
4.	Parrilla
5.	Lámina metálica
6.	Aislante
7.	Transportador de retorno

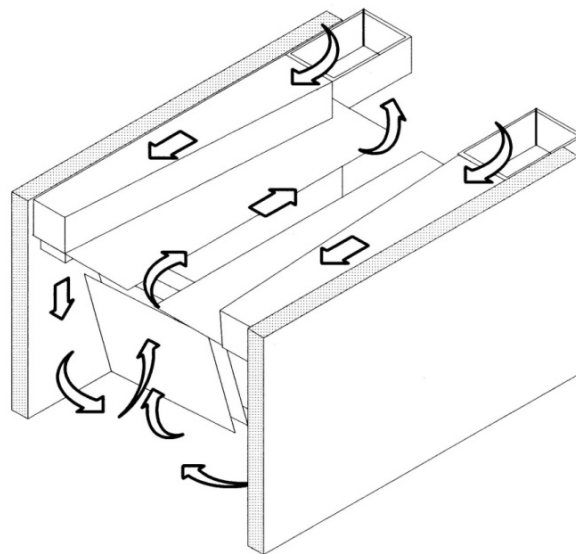


Figura 4. Esquema de la circulación de aire en el horno de secado.

Fuente: Manual LTG Instrucciones de horno de secado(1998).

Con una alta velocidad de circulación logramos uniformidad del suministro de aire caliente y por lo tanto un calentamiento uniforme

de las láminas. Además, la suficiente circulación de aire caliente garantiza la dilución completa y consistente de los solventes dentro del horno.

El aire cargado de solventes es aspirado a través de ranuras en la parte central del túnel y llevado a la instalación del horno de incineración de residuos.

1.4 Control de calidad de la lámina curada

Previo al proceso de curado es necesario conocer la curva de temperatura y tiempos para saber seleccionar los criterios de control de calidad de la lámina curada.

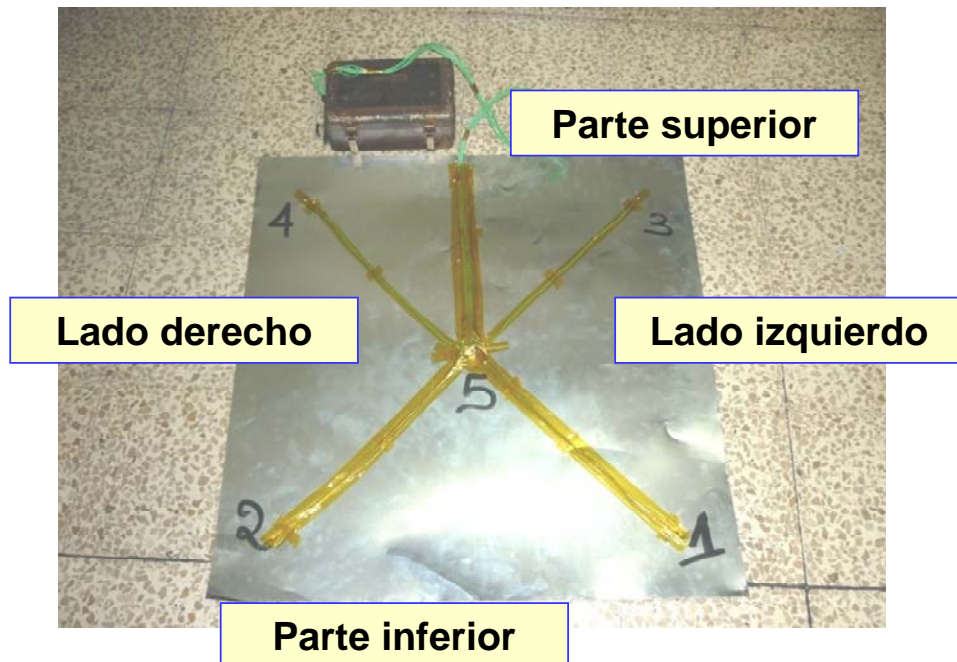


Figura 5. Puntos de medición de temperatura en una lámina.

Para ello utilizamos un equipo registrador de temperaturas dentro del horno llamado DataPaq. En la *Figura 5* podemos ver los 5 puntos de medición usando termopares colocados en puntos simétricos de la lámina.

Los criterios de control de calidad (Ver *Figura 6* y **Apéndice B**) que debe cumplir una curva de curado para barnices sanitarios de resina base epoxi-fenólica son los siguientes:

- en la zona de cocción es admisible una diferencia de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ la temperatura nominal.
- la temperatura inferior debe incluirse por 10 minutos, la temperatura nominal debe cumplirse de 8 a 12 minutos y la temperatura superior no exceder de los 3 minutos.

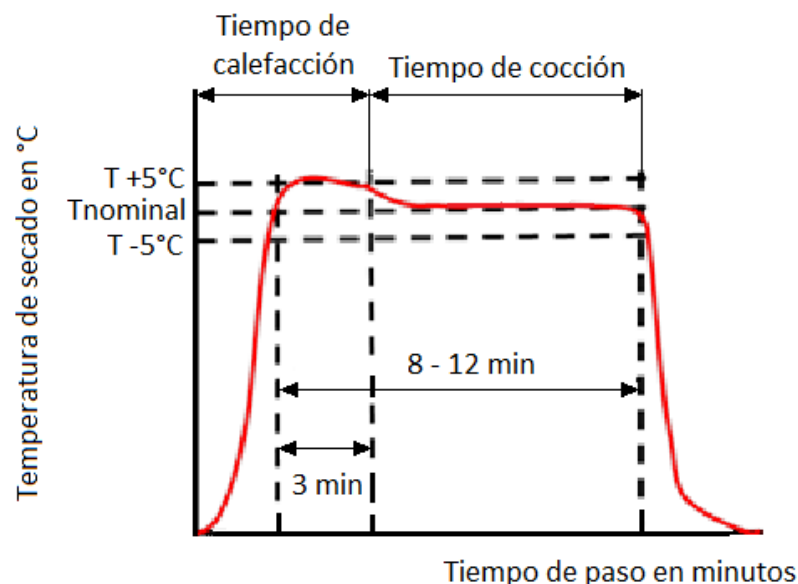


Figura 6. Curva ideal de temperatura.

1.5 Descripción del contexto actual

La creciente demanda de envases por parte de las empresas conserveras dentro de nuestro país y fuera del mismo exige mejorar continuamente los procesos de fabricación de envases.

Según estadísticas del Banco Central del Ecuador, el 2012 marcó un récord en exportaciones pesqueras generando excelentes oportunidades para la industria de enlatados de pescado, y por consiguientesusproveedores. La *Tabla 3* muestra como la categoría dominante del atún en conserva (73.63%) tuvo un crecimiento en el año 2012 del24.09% respecto del 2011.

TABLA 3
Exportaciones Ecuatorianas de Conservas de Pescado

PARTIDA	DESCRIPCION	2012 FOB-MILES USD	2011 TON	2012 FOB-MILES USD	2012 TON	TASA VARIACION TON	TASA VARIACION USD	%/TOTAL FOB DÓLAR
1604141000	Atunes en conserva	557,833	122,577	821,168	152,100	24.09%	47.21%	73.63%
1604200000	Las demás preparaciones y conservas de pescado	241,494	50,545	209,914	37,415	-25.98%	-13.08%	18.82%
1604131000	Sardinias, sardinelas y espadines en salsa de tomate	47,602	28,166	50,283	28,631	1.65%	5.63%	4.51%
1604190000	Los demás pescados enteros o en trozos, excepto el pescado	11,402	6,450	11,528	6,202	-3.84%	1.11%	1.03%
1605200000	Camarones, langostinos y demás decápodos natantia	8,278	1,192	11,135	1,661	39.35%	34.51%	1.00%
1604142000	Conservas de listados y bonitos	0	0	4,539	748	100.00%	100.00%	0.41%
1604132000	Conservas de sardinias, sardinelas y espadines en aceite	2,459	1,227	3,154	1,533	24.94%	28.26%	0.28%
1605400000	Los demás crustáceos en conservas	1,505	84	1,461	91	8.33%	-2.92%	0.13%
1604133000	Pescado entero o en - preparaciones y conservas de-	234	134	943	517	285.82%	302.99%	0.08%
1604150000	Caballas preparadas o en conservas	753	298	735	281	-5.70%	-2.39%	0.07%
1604120000	Arenques	242	118	200	99	-16.10%	-17.36%	0.02%
1605909000	- crustáceos, moluscos y demás - los demás	4	0	99	26	100.00%	2375.00%	0.01%
1604139000	Pescado entero o en - preparaciones y conservas de-	844	412	71	39	-90.53%	-91.59%	0.01%
	TOTALES	872,650	211,203	1,115,230	229,343	8.59%	27.80%	100.00%

Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE)

Considerando que el envase típico de conserva de pescado, diámetro de cuerpo 83 mm y altura 40 mm, tiene una capacidad de 170 cm³ entonces para enlatar una tonelada de atún se requieren:

$$\frac{1,000 \text{ kg}}{0.17 \text{ kg/env}} = 5,882 \text{ envases}$$

Como de una lámina se obtienen 42 envases (ver **Apéndice C**), entonces, para envasar una tonelada de atún se van a requerir:

$$\frac{5,882 \text{ env}}{42 \text{ env/lam}} = 140 \text{ láminas}$$

Por tanto, solo para cubrir el aumento de la demanda de atún enlatado del año 2012 se necesitarían:

$$29,523 \text{ ton} \times 140 \text{ lam/ton} = 4,133,220 \text{ láminas}$$

Al existir varias prensas automáticas de envases que fabrican a una velocidad de 600 env/min, la capacidad de producción de envases embutidos está muy por encima de la capacidad de producción de la sección de barnizado donde unas pocas líneas con ciclos de fabricación más largos no son suficientes para atender las necesidades de todas las prensas.

Esa situación demanda operar más horas extras en las líneas de barnizado además de mantener un respaldo en piso de lámina barnizada importada con costos y recargos adicionales que elevan los gastos de operación.

En la *Tabla 4* podemos observar que el nivel de utilización de una línea de barnizado en el año 2012 llegó al 108.07%.

TABLA 4
% Utilización línea de barnizado año 2012

	Horas anuales trabajadas	Horas anuales disponibles	% UL
Línea Bar. San.	8,118	7,512	108.07%

Por otro lado, está disponible una línea (construida hace más de 35 años) que no barniza interiores de láminas para alimentos porque no cumple las condiciones de temperatura y tiempos de secado necesarios para garantizar que la película de protección cumpla las propiedades de resistencia requeridas para contenerlos.

Estas deficiencias se pusieron en evidencia cuando por la continua necesidad de incremento de productividad se pasó de un tamaño estándar de lámina para 36 envases a otro de 42 envases por lámina.

Debido a ello la línea sólo barniza exteriores de protección que solo tienen que cumplir requisitos generales de secado, habiendo disponibilidad de horas de producción que pudieran ser aprovechadas.

En este escenario surge la idea del presente proyecto de optimizar la línea con relación al estado suministrado por el fabricante de la máquina y superar así la restricción de uso.

1.6 Objetivo

El objetivo principal del presente proyecto es optimizar las condiciones del horno de la línea de barnizado con el fin de poder cumplir los requerimientos de control de calidad para el curado de láminas sanitarias.

1.7 Metodología

La metodología seguida para el desarrollo del proyecto está basada en la metodología 8D(8 disciplinas) cuyas 8 fases se ilustran en la *Figura 7*. Cada una de estas fases está compuesta por un conjunto de actividades que ayudan a resolver el problema y de esta forma cumplir con el objetivo del proyecto.

Lo primero es seleccionar el personal idóneo para que analice el problema y luego logre la puesta en marcha de las decisiones tomadas. El equipo seleccionado está formado por dos mecánicos y dos electricistas de producción bajo la guía de un supervisor familiarizado con los procedimientos de mejora de procesos.

El siguiente paso consiste en la toma de datos suficientes para la concreción del problema y entrar en los detalles precisos de los ¿porqué?. Se utilizó el método inductivo de observación directa de los equipos de la línea objeto del estudio para encontrar semejanzas o diferencias con los equipos de las otras líneas.

A continuación se efectúan entrevistas con los mecánicos, operadores de la línea y personal de control de calidad para anotar sus observaciones, comentarios y opiniones.

Luego viene la recolección de la documentación sobre la línea que pueda aportar datos sobre el problema: reportes de producción y mantenimiento, reportes de curvas de curado de la línea, procedimientos de operación y manuales del fabricante.

Posteriormente pasamos al análisis de los datos. Se empieza por identificar variaciones o deficiencias que se traduzcan en un posible "fallo" de los principales equipos como son los quemadores de gas, ventiladores de circulación del aire caliente o los instrumentos de medición.

A continuación se clasifican los problemas por orden de importancia y se define que problemas hay que resolver primero.

El último paso es la definir soluciones y poner en práctica las alternativas elegidas basados en su viabilidad técnica y económica estableciendo responsables, medios y tiempo de ejecución.

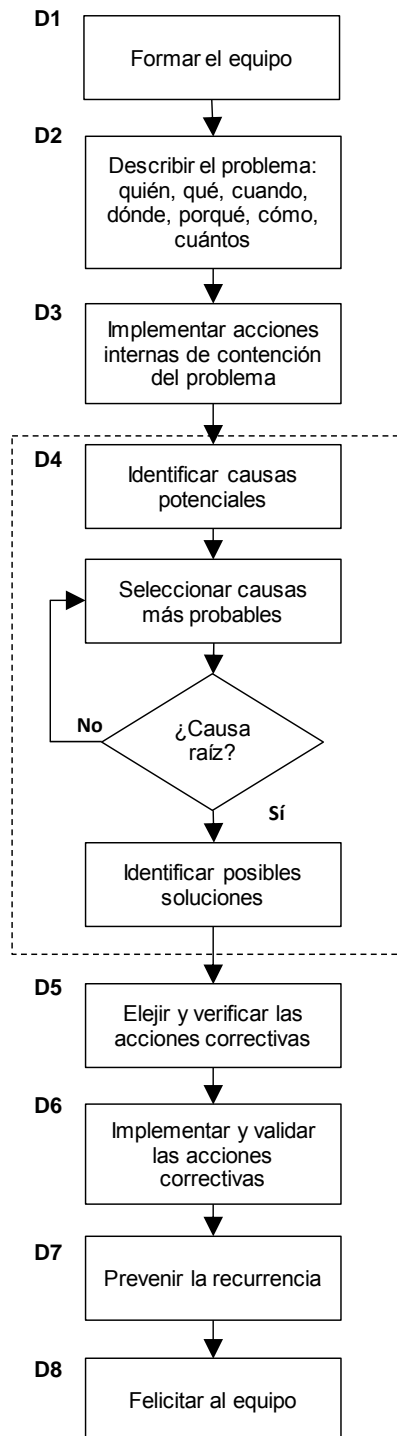


Figura 7. Metodología 8D

CAPITULO 2

SOLUCIONES PROPUESTAS

2.1 Análisis delascurvas de temperatura

El principal análisis se hace sobre la base de los reportes de las curvas de temperatura históricas de la línea tomadas con el equipo DataPaq.

En la *Figura 8* se aprecia en amarillo la “curva ideal” de secado que después de unos 5 minutos alcanza la temperatura de secado deseada la cual se mantiene constante hasta el final de la zona de cocción.

En la misma figura observamos 4 curvas que en la zona de calefacción están sobre la curva ideal. Se observa que al inicio de la zona de cocción las 4 curvas caen ligeramente hasta la temperatura nominal pero luego del minuto 6 sobrepasan la temperatura nominal hasta que finalmente todas las curvas caen demasiado pronto antes de entrar a la zona de enfriamiento.

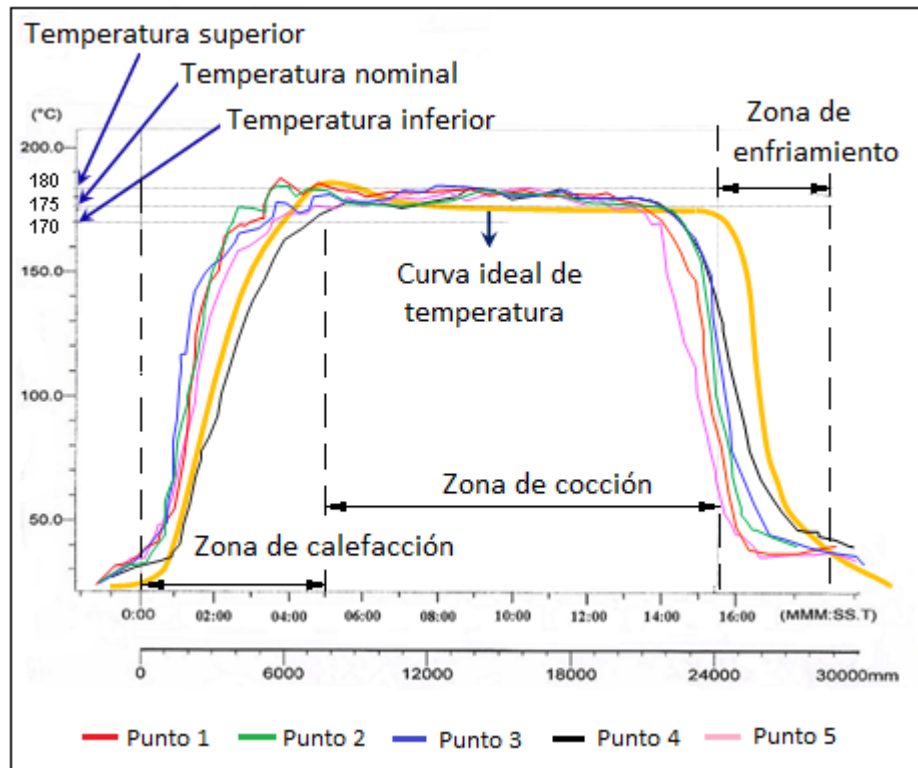


Figura 8. Curvas históricas de temperatura

En la *Tabla 5* se observan los registros de tiempos de los cinco puntos de medición. Únicamente el punto 4 cumple la condición de mantener la temperatura inferior (-5°C) durante al menos 10 minutos; además, se observa que ningún punto cumple la condición de tener la temperatura superior ($+5^{\circ}\text{C}$) máximo durante 3 minutos.

Con la ayuda del grupo se determinó dos principales causas que tienen influencia directa en el comportamiento de las curvas de temperatura:

1. La inestabilidad de temperaturas por la dificultad de regular y mantener estable la llama que calienta el aire de circulación, y

ocasionado por el tipo de quemador utilizado (ver *Figura 9*). El sistema de quemadores conocido como de 2 etapas o de “On-Off” provoca bruscas subidas de temperatura al prenderse el quemador.



Figura 9. Quemador de dos etapas.

2. La falta de caudal de aire caliente al final del túnel por la falta de capacidad del ventilador para forzar el aire a través del túnel y vencer la resistencia de la mayor carga de láminas viajando por este.

TABLA 5
Registrole tiempos y temperaturas

Sensor Punto	Tinf 170°C Min	Tnominal 175°C Min	Tsup 180°C Min
1	9:40	9:00	7:30
2	9:50	9:30	4:30
3	9:50	9:30	6:30
4	10:10	9:20	6:30
5	9:30	8:30	4:00

Solo el punto 4
cumple el Tmín
de 10 min

Todos los puntos
exceden el Tmáx
de 3 min

2.2 Solución al problema de falta de caudal de aire

Para resolver el problema de la caída de temperatura antes del final del túnel de cocción debemos incrementar el caudal del aire suministrado. Esto implica cambiar la velocidad del ventilador y por tanto la potencia del motor que impulsa el ventilador.

TABLA 6
Características del motor del ventilador de aire

Potencia del motor	7.5 Kw
Velocidad del motor	1,170 RPM
Voltaje	220 V
Relación de transmisión	2:3

Para calcular usaremos los datos tabulados en la *Tabla 6* y de las leyes de los ventiladores:

$$CFM_2 = CFM_1 \times \frac{RPM_2}{RPM_1}$$

Si el CFM_1 medido es 710 CFM. Con un nuevo motor de 1,735 RPM y una relación de transmisión de 1:1, tendríamos:

$$CFM_2 = 710 \times \frac{1,735}{780} = 1,579.29$$

Que es muy próxima al valor teórico calculado en el inciso 2.4.

Las especificaciones técnicas del motor de 10 hp marca ABB modelo M2QA 132 M seleccionado se muestran en el **Apéndice D**. (Ver también *Figura 10*).



Figura 10. Motor y ventilador de aire caliente zona de cocción.

2.3 Solución a los problemas del quemador

Para resolver este problema reparamos un quemador sin uso que había sido desmontado de otra línea más nueva. A su característica de encendido en una sola etapa y regulación modulante con control de temperatura se le hizo una mejora instalando un sensor de llama ultravioleta que detecta la llama tranquila color azul violeta indicativa de una relación gas – aire correcta.

Las especificaciones del sensor de llama ultravioleta marca Honeywell modelo C7061A seleccionado se muestran en el **Apéndice E**. (Ver también *Figura 11*).

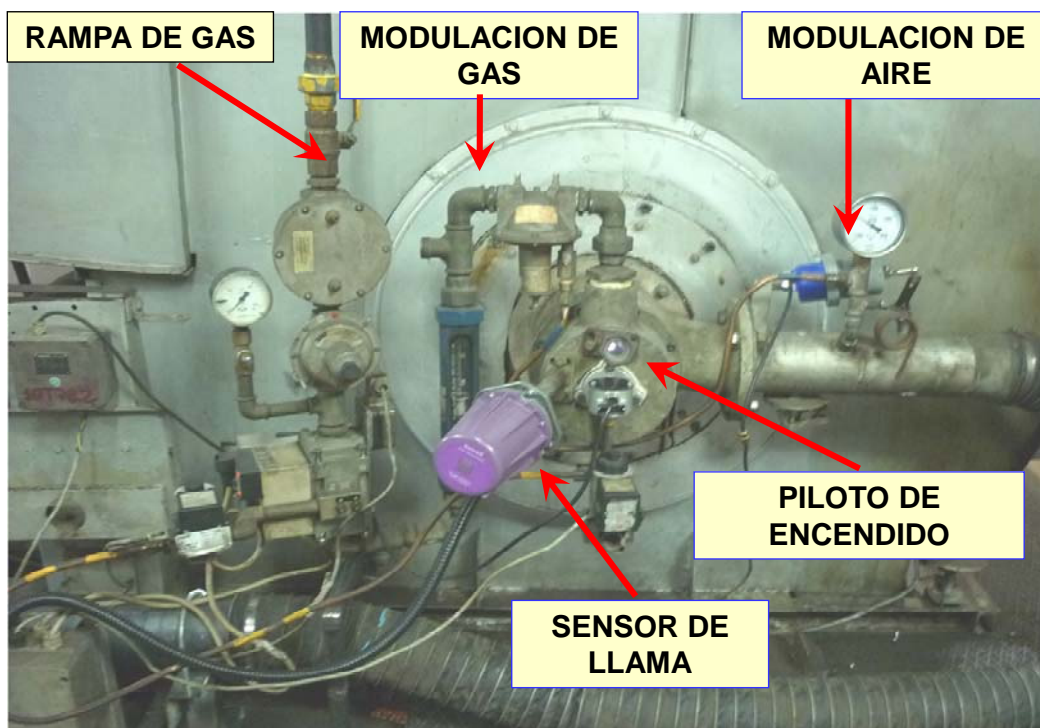


Figura 11. Quemador modulatorio de una etapa.

2.4 Cálculo de la cantidad del aire de salida

Por último debemos regular la cantidad de aire de salida de acuerdo a especificaciones.

La cantidad de máxima de solvente G_{\max} se calcula según la fórmula siguiente:

$$\dot{G}_{\max} = \text{No. lám} \left(\frac{1}{\text{hr}} \right) \times \text{Cantidad barniz por lám (kg)} \times \frac{100 - \% \text{ solidos}}{100}$$

De aquí se calcula la cantidad del aire de salida:

$$\dot{Q}_{\text{aire salida}} = \frac{G_{\max} \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{0.0145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

Por disposiciones de seguridad (según VBG 24), a una temperatura del aire de salida de máximo 220°C no se debe sobrepasar una concentración máxima de solventes de 14.5 g_{solv}/m³ (≤ del 50% del límite inferior de explosividad LIE).

Para nuestro caso con un rendimiento de 3,600 lám/hr

Cantidad de barniz por lámina: 0.02 kg

Contenido de sólidos: 45%

De aquí resulta:

$$\dot{G}_{\max} = 3,600 \frac{\text{lám}}{\text{hr}} \times 0.02 \text{ kg} \times \frac{100 - 45}{100} = 39.6 \frac{\text{kg}_{\text{solv}}}{\text{hr}}$$

$$\dot{Q}_{\text{aire salida}} = 2,731 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 1,607 \text{ CFM}$$

Debemos transformar este caudal a velocidad en pies/minuto, ya que el instrumento de medición utilizado viene en CFM.

El diámetro de la chimenea es de 600 mm.

$$Q = \text{Velocidad} \times \text{Área}$$

Despejando la velocidad y convirtiendo unidades tenemos que:

$$\text{Vel}_{\text{aire salida}} = 528.6 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

Aplicando un factor de seguridad de 2 para que no escape nada de aire de salida con contenido de solvente al área de producción, resulta:

$$\text{Vel}_{\text{aire salida regulada}} = 1,057 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

2.5 Control de calidad del producto final

Las curvas de temperatura deberán cumplir con los requerimientos de curado para barnices sanitarios, tal como se especificó en el inciso 1.4. En la *Figura 12* podemos observar los perfiles de

temperaturas obtenidos y en la *Tabla 7* los valores de medición actuales comparándolos con los requisitos.

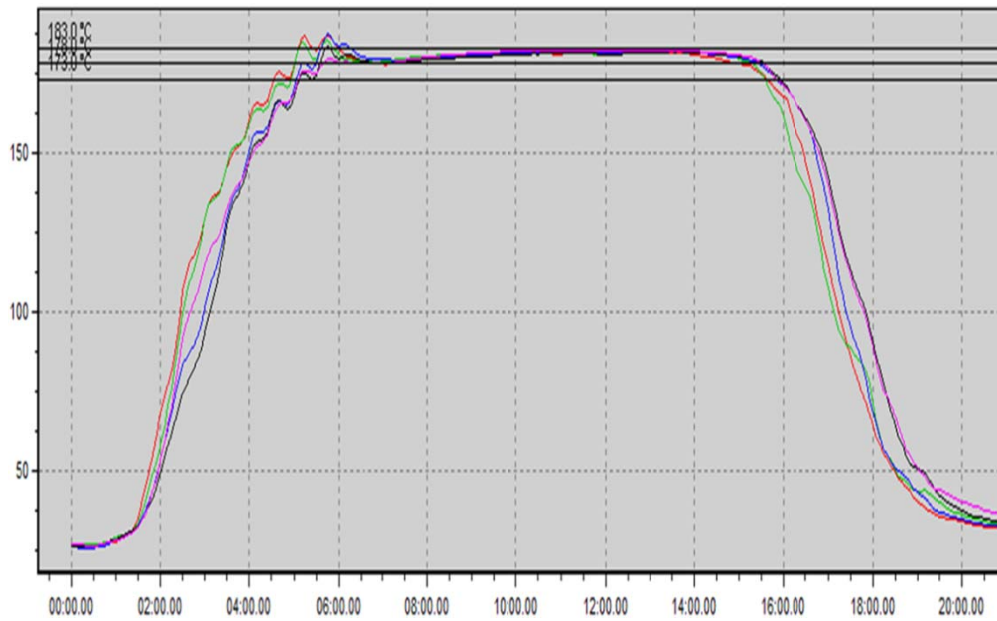


Figura 12. Curva de temperatura luego de la mejora.

Fuente: El fabricante de envases.

TABLA 7

Valores de temperaturas y tiempos de curado

Sensor Punto	Tinf 173°C Min	Tnominal 178°C Min	Tsup 183°C Min
1	11:05	9:45	0:40
2	10:35	10:15	0:25
3	10:45	10:05	0:40
4	10:45	10:00	0:05
5	10:45	9:45	0:00

↑	↑	↑
Todos los puntos cumplen el T _{min} de 10 min	Todos los puntos cumplen el T _{nom} de 8-12 min	Ningún punto excede el T _{máx} de 3 min

En el **Apéndice D** se muestra un reporte de curvas de curado en donde se muestra que todos los puntos de medición cumplen los requisitos.

CAPITULO 3

RESULTADOS

3.1 Inversión en modificaciones

En la *Tabla 8* se establece el gasto por compra de equipos y materiales necesarios para las modificaciones.

3.2 Beneficios económicos

TABLA 8
Inversión realizada

Cant.	Descripción	Precio Unitario USD	Total USD
1	Motor 11 KW	\$ 728.00	\$ 728.00
1	Guardamotor	\$ 138.64	\$ 138.64
2	Polea 3 canales 9 pulg	\$ 69.06	\$ 138.12
1	Sensor de llama	\$ 920.20	\$ 920.20
1	Regulador y medidor de gas	\$ 535.90	\$ 535.90
			\$ 2,460.86

Proporcionar condiciones para una mejor utilización de los equipos se traduce en un trabajo más productivo lo que a su vez se refleja en beneficios económicos para la empresa.

Debido al aumento de la producción existen dos componentes que determinan el beneficio: primero es el ahorro en el consumo de gas y segundo es el ahorro en fletes y seguros por las toneladas de lámina barnizada que se deja de importar.

Para determinar el ahorro por el gas se lo hace considerando un tiempo de trabajo de 24 horas diarias durante 312 días, los resultados se muestran en la *Tabla 9*.

TABLA 9
Ahorro por consumo de gas en un año

	Consumo de gas (kg/hr)	Horas máquina trabajadas	Consumo anual (kg/año)	Costo kg gas	Costo anual USD
Actual	15.39	7,488	115,240	\$ 0.86	\$ 98,843
Proyecto	10.99	7,488	82,293	\$ 0.86	\$ 70,584
AHORRO	4.40		32,947		\$ 28,259

Por otra parte, en la *Tabla 10* se observa la producción mensual y acumulada luego de la optimización realizada al proceso.

TABLA 10
Producción mensual lámina barnizada sanitaria

Fecha	Láminas sanitarias producidas línea modificada	% U _L adicional
ene-13	91,577	13.88
feb-13	355,766	30.63
mar-13	437,073	36.02
abr-13	548,480	70.74
may-13	440,577	49.37
jun-13	275,690	30.92
jul-13	162,329	16.97
ago-13	88,618	13.82
sep-13	188,070	29.78
oct-13	62,078	7.81
nov-13	268,860	31.14
dic-13	308,576	35.17
TOTALES	3,227,694	32.6%

Para determinar el ahorro por gastos de importación se lo hace a partir de la producción anual de láminas considerando un gasto adicional de USD 100 por tonelada. Los resultados indicados se muestran en la *Tabla 11*.

Como se puede observar el beneficio económico fue muy superior a las expectativas, la empresa ahorró USD 384,976.13 con respecto a las condiciones existentes antes de la optimización.

TABLA 11
Ahorro por producir localmente

Meses	Láminas sanitarias procesadas en la línea modificada	Láminas sanitarias procesadas en kg	Costo flete por ton de lámina importada	Ahorro Anual USD
12	3,227,694	3,591,778	\$ 100	\$ 359,178

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Después de efectuadas las mejoras en los equipos se procede a indicar las siguientes conclusiones:

- Se optimizó la línea de barnizado para cumplir los requerimientos de las curvas de temperatura y tiempo de curado.
- La optimización del horno de secado permitió aumentar la utilización de la línea de barnizado en un 32.6%.
- Se incrementaron 3,227.7 toneladas a la producción de lámina barnizada de la sección.
- El ahorro por no importar lámina barnizada sanitaria fue de USD 359,178.

- El ahorro por reducción del consumo de combustible fue de USD 28,259.
- La empresa logró un importante ahorro económico por la no adquisición de un quemador automático nuevo.

4.2 Recomendaciones

- Analizar la compra de un nuevo quemador modulativo para la zona de calentamiento y así seguir optimizando el consumo de gas de la sección.
- Existieron dificultades para la obtención del historial de datos de máquina porque las fichas de registro del software de mantenimiento tenían campos sin llenar. Se recomienda levantar información actualizada real de los equipos y mantener el software de mantenimiento.
- El personal de mantenimiento del área, a pesar de tener mucha práctica, posee conocimientos básicos en cuanto a nuevos sistemas mecánicos. Se recomienda capacitar al personal para que estén en capacidad de dar alternativas de solución a los problemas.

APÉNDICES

APÉNDICE A

**Hoja de Especificación Técnica de recubrimiento sanitario para interior
de envases**

APÉNDICE B

Método deControl de Curvas de Temperatura

APÉNDICE C

Plano de corte de lámina para envase embutido

APÉNDICE D

Datos técnicos generales del motor

APÉNDICE E

Especificaciones detector de llama ultravioleta

APÉNDICE F

Reporte de curvas de temperaturas y tiempos de curado

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIGA RIVERA ALFREDO, Seminario combustión industrial aplicada y control de contaminantes, disponible en: www.cdts.espol.edu.ec/documentos
- CASTILLO NEIRA PERCY, Combustión industrial de gas natural, 2013
- EL MUNDO DE LA LATA. Citado 2015 Agosto 07, disponible en: [http://www.mundolatas.com/Informacion té](http://www.mundolatas.com/Informacion_té)
- LTG Metal Decorating, Instrucciones de manejo para el horno de secado de hojas de chapa, 1997
- MEYERLEO A., Fans and V Belt Drives, Indoor Environment Technicians Library, 2002
- SHIGLEY JOSEPH E., MISCHKE CHARLES R., Diseño en Ingeniería Mecánica, McGraw-Hill, México 1990.
- TURNERT. A., CANMAKING The Technology of Metal Protection and Decoration, Blackie Academic & Professional, 1998