

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SECADOR DE
CAPULLOS DE SEDA PARA LA CARRERA DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS**

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

ELABORADO POR:

LUIS EDUARDO RUIZ FLORES

LUIS SANTIAGO PADILLA PINTO

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA

Octubre 05, 2007

Sangolquí - Ecuador

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SECADOR DE CAPULLOS DE SEDA PARA LA CARRERA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS” fue realizado en su totalidad por Luis Santiago Padilla Pinto y Luis Eduardo Ruiz Flores, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez
DIRECTOR

Ing. José Guasumba
CODIRECTOR

Sangolquí, Octubre 05, 2007

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SECADOR DE
CAPULLOS DE SEDA PARA LA CARRERA DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS”**

ELABORADO POR:

Luis Santiago Padilla Pinto

Luis Eduardo Ruiz Flores

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Crnl. Juan Díaz

COORDINADOR DE LA CIME

Sangolquí, Octubre 05, 2007

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y título obtenido a mis ejemplares padres, por todo el sacrificio que hacen para darme un mejor futuro y ayudarme a lograr todas mis metas, principalmente a mi madre que siempre ha estado apoyándome para culminar esta importante etapa de mi vida.

Luis Eduardo.

A mis padres Rosa Pinto y José Padilla, que estuvieron a mi lado durante esta etapa de mi vida estudiantil brindándome su apoyo incondicional para la culminación de mi carrera.

A mis familiares y amigos, por estar en situaciones buenas y adversas, con nosotros cuando más los necesitamos, recordándonos que si se puede, si se pudo y si se podrá.

Luis Santiago.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por su total entrega, esfuerzo y apoyo incondicional a la culminación de esta importante meta.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por habernos dado la oportunidad de prepararnos en sus aulas y laboratorios con anhelo de superación y éxito.

Al departamento de ciencias de la energía y mecánica, por habernos dado todas las facilidades de sus instalaciones para la construcción de nuestro proyecto.

A la Carrera de Ciencias Agropecuarias (Sede Santo Domingo de los Colorados), hacienda “Zoila Luz” por habernos brindado el apoyo económico y logístico para llevar a cabo la construcción y culminación del proyecto. Y de sobremanera al Ing. Mayo. René González, Coordinador de la misma, y su equipo de colaboradores.

Nuestro especial agradecimiento a los Srs. Ing. José Pérez e Ing. José Guasumba, por el valioso apoyo que nos han brindado para la realización del presente proyecto.

INDICE GENERAL

CERTIFICACION DEL PROYECTO.....	II
LEGALIZACION DEL PROYECTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XX

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Alcance.....	4
1.5 Justificación e importancia.....	4

CAPITULO 2

MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Gusano de seda.....	6
2.1.2 Capullo de seda.....	7
2.1.2.1 Producción.....	7
2.1.2.2 Uso de la seda.....	9
2.1.2.3 Características.....	9
2.1.3 Secado del capullo de seda	10

2.1.3.1	Propósito del secado.....	10
2.1.3.2	Condiciones de secado.....	11
2.1.4	Calor y temperatura.....	14
2.1.4.1	Calor sensible.....	14
2.1.4.2	Calor latente.....	15
2.1.4.3	Calor específico.....	16
2.1.5	Deshidratación.....	16
2.1.5.1	Parámetros relacionados con la deshidratación.....	16
2.1.5.1.1	Contenido de humedad.....	17
2.1.5.1.2	Masa de humedad a retirar del producto.....	18
2.1.5.1.3	Períodos del secado.....	19
2.1.6	Psicrometría.....	22
2.1.6.1	Aire atmosférico.....	23
2.1.6.2	Propiedades termodinámicas del aire húmedo.....	24
2.1.6.3	Procesos psicrométricos en el secado.....	27
2.1.7	Mecanismos de transferencia de calor.....	28
2.1.7.1	Conducción.....	28
2.1.7.2	Convección.....	30
2.1.7.3	Radiación.....	31
2.1.8	Conducción unidimensional en el estado estable.....	32
2.1.9	Condiciones de contorno de convección.....	36
2.1.10	Intercambiadores de calor.....	40
2.1.10.1	Tipos de intercambiadores de calor.....	40
2.1.10.2	Deflectores.....	45
2.1.10.3	Haces de tubos en flujo transversal.....	47
2.1.10.4	Factores de ensuciamiento.....	50
2.1.11	Técnicas de secado.....	50
2.1.11.1	Secado por aire caliente.....	51
2.1.11.2	Secado al vacío.....	53
2.1.11.3	Secado por superficies calientes.....	57
2.1.11.4	Secado por radiación.....	58
2.1.12	Combustibles.....	60
2.1.12.1	Selección.....	61
2.1.12.2	Propiedades.....	61

2.1.13	Proceso de combustión.....	65
2.1.13.1	Combustión estequiométrica.....	67
2.1.13.2	Exceso de aire.....	67
2.1.13.3	Combustión perfecta.....	68
2.1.13.4	Combustión completa.....	68
2.1.13.5	Combustión incompleta.....	68
2.1.13.6	Relación aire combustible.....	68
2.1.13.7	Ecuación de la combustión.....	69
2.1.13.8	Eficiencia de la combustión.....	69
2.1.13.9	Eficiencia térmica.....	69
2.1.14	La combustión de mezclas gaseosas.....	70
2.1.14	Control de la combustión.....	71
2.1.16	Quemadores a gas.....	72
2.1.16.1	Quemadores atmosféricos.....	75
2.1.16.2	Quemadores de gas/aire.....	76
2.1.16.3	Quemadores de llama piloto.....	77
2.1.16.4	Recomendaciones para la operación apropiada del quemador.....	78
2.1.16.5	Seguridad en la operación del quemador.....	79
2.1.16.6	Sistemas automáticos.....	81
2.2	Marco Conceptual.....	86
2.3	Marco Contextual.....	90
2.3.1	Externo.....	90
2.3.2	Interno.....	100
CAPITULO 3		
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....		
		105
3.1	Planteamiento de alternativas.....	105
3.2	Cámara de secado.....	106
3.2.1	Secadora con estantes.....	106
3.2.2	Secadora de pisos sobrepuestos.....	107
3.2.3	Secadora de banda continua.....	108
3.3	Tipos de quemadores a gas.....	110

3.3.1	Quemador atmosférico circular.....	110
3.3.2	Quemador atmosférico tipo flauta.....	111
3.3.3	Quemador industrial tipo tubular.....	112
3.4	Selección de la alternativa más viable.....	113
3.4.1	Parámetros de selección.....	113
3.4.2	Selección de la cámara de secado.....	115
3.4.3	Selección del quemador a gas.....	116
3.4.4	Descripción del horno secador seleccionado.....	117
CAPITULO 4		
DISEÑO118		
4.1	Térmico.....	118
4.1.1	Dimensión de un capullo.....	118
4.1.2.1	Cálculo del número aproximado de capullos a secarse.....	120
4.1.2.1.1	Dimensiones de la cámara de secado.....	122
4.1.3	Cálculo del calor sensible.....	126
4.1.3.1	Calor sensible de la corteza del capullo.....	127
4.1.3.2	Calor sensible de la pupa.....	128
4.1.4	Cantidad de humedad a remover de los capullos.....	129
4.1.4.1	Cantidad de humedad a remover de la corteza.....	129
4.1.4.2	Cantidad de humedad a remover de las pupas.....	130
4.1.5	Calor latente de los capullos.....	131
4.1.6	Masa total de los capullos secos.....	132
4.1.7	Porcentaje de secado de los capullos.....	132
4.1.8	Calor útil en la cámara de secado.....	133
4.1.9	Pérdidas de calor en la cámara de secado.....	133
4.1.9.1	Pérdidas de calor en las paredes de la cámara de secado.	134
4.1.9.1.1	Coeficiente de convección interna en la cámara de secado.....	134
4.1.9.1.2	Coeficiente de convección externa a la cámara de secado.....	136

4.1.9.1.3	Coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la cámara de secado.....	137
4.1.9.2	Pérdidas de calor por la salida del aire utilizado en el secado.....	140
4.1.10	Calor requerido en la cámara de secado.....	141
4.1.11	Calentamiento del aire... ..	141
4.1.11.1	Coeficiente de convección interna en el tubo.....	143
4.1.11.2	Coeficiente de convección externo al tubo.....	144
4.1.11.3	Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo.	146
4.1.11.4	Coeficiente global de transferencia de calor en el tubo con incrustación.....	148
4.1.11.5	Cálculo del calor útil en un tubo del intercambiador de calor.....	148
4.1.11.6	Calor requerido para el calentamiento de la estructura metálica de la cámara de secado.....	149
4.1.11.7	Cálculo del número de tubos en el intercambiador.....	149
4.1.11.8	Calor útil en la cabina de calentamiento del aire.....	150
4.1.11.9	Pérdidas de calor en la cabina de calentamiento del aire.....	150
4.1.11.9.1	En las paredes de la cámara de combustión.....	150
4.1.11.9.1.1	Coeficiente de convección externo.....	151
4.1.11.9.1.2	Coeficiente de convección interno.....	152
4.1.11.9.1.3	Coeficiente global de transferencia de calor.....	152
4.1.11.9.2	En las paredes del intercambiador de calor.....	154
4.1.11.9.2.1	Coeficiente de convección externo.....	154
4.1.11.9.2.2	Coeficiente de convección interno.....	155
4.1.11.9.2.3	Coeficiente global de transferencia de calor.....	155
4.1.11.9.3	En la salida de los gases de combustión.....	158
4.1.11.9.1	Calor requerido para el calentamiento del aire.	159
4.1.12	Cálculo del flujo másico de combustible.....	159
4.1.13	Relación aire combustible.....	160
4.1.14	Cálculo del flujo másico de aire necesario para la combustión.....	161
4.1.15	Cálculo del aire necesario para el secado.....	162
4.1.16	Cálculo de las pérdidas de presión.....	165
4.1.17	Presión estática del ventilador.....	176
4.1.18	Selección del ventilador.....	176

4.1.19	Selección del controlador de temperatura.....	177
4.2	Diseño estructural.....	178
4.2.1	Determinación de las cargas.....	178
4.2.2	Análisis de tensiones de base estructural.....	179
4.2.3	Resultados.....	183
CAPITULO 5		
	CONSTRUCCIÓN	184
5.1	Construcción del Intercambiador de calor.....	189
5.1.1	Módulo de la cámara de combustión.....	189
5.1.2	Módulo del intercambiador de calor.....	191
5.1.3	Módulo del tiro	193
5.2	Construcción de la cámara de secado.....	195
CAPITULO 6		
	MONTAJE Y PRUEBAS	199
6.1	Montaje.....	199
6.2	Pruebas.....	203
6.3	Parámetros y variables.....	203
6.4	Equipos e instrumentos.....	203
6.5	Procedimiento.....	205
6.6	Evaluación de resultados.....	206
CAPITULO 7		
	ANÁLISIS ECÓNOMICO – FINANCIERO.....	209
7.1.	Análisis económico.....	209
7.2.	Consumo energético.....	212
7.3.	Análisis financiero.....	213
7.3.1	Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).....	214

7.4.	Recuperación de la inversión.....	216
7.5.	Relación costo-beneficio.....	217
CAPITULO 8		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		218
8.1.	Conclusiones.....	218
8.2	Recomendaciones.....	219
BIBLIOGRAFÍA.....		220
ANEXOS.....		222
ANEXO A: PLANOS.....		223
ANEXO B: DIAGRAMA DE OPERACIONES.....		224
ANEXO C: DIAGRAMA DE PROCESOS.....		225
ANEXO D: CATÁLOGOS.....		226
ANEXO E: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.....		227
ANEXO F: MANUAL DE MANTENIMIENTO.....		228
ANEXO G: FOTOGRAFÍAS.....		229
ANEXO H: CARTA DE SATISFACCIÓN.....		230

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Contenido de agua en los capullos frescos y secos.....	11
Tabla 2.2	Composición del aire seco.....	23
Tabla 2.3	Coefficientes de convección orientativos.....	31
Tabla 2.4	Espaciado de los tubos.....	48
Tabla 2.5	Relación de \bar{h}/\bar{h}_{10}	49
Tabla 2.6	Factores de ensuciamiento.....	50
Tabla.2.7	La temperatura de ebullición del agua en función de la presión.....	53
Tabla 2.8	Propiedades de algunos hidrocarburos.....	60
Tabla.2.9	Producción capullos frescos (Fuente: Boletín red andina de la seda).....	96
Tabla.2.10	Producción de seda cruda (Fuente: Boletín red andina de la seda).....	96
Tabla. 2.11	Consumo de seda Industrial en Italia (Fuente: Boletín red andina de la seda).....	97
Tabla. 2.12	Producción y Consumo mundial de la seda capullos frescos (Fuente: Boletín red andina de la seda).....	97
Tabla 3.1	Matriz de decisión para la cámara de secado.....	115
Tabla 3.2	Matriz de decisión para el quemador a gas.....	116
Tabla 4.1	Reporte del proceso de secado.....	163
Tabla 4.2	Coefficiente de resistencia- dilatación gradual.....	167
Tabla 4.3	Rugosidad de conductos.....	170
Tabla 4.4	Tipo de material de análisis.....	183
Tabla 4.5	Propiedades del acero A36.....	183
Tabla 5.1	Listado de materiales, insumos e implementos de seguridad.....	184
Tabla 5.2	Listado de equipos utilizados.....	186
Tabla 5.3	Instrumentos utilizados.....	189
Tabla 5.4	Herramientas manuales utilizadas.....	189

Tabla 6.1	Comportamiento del quemador.....	206
Tabla 6.2	Grado de secado de los capullos.....	206
Tabla 7.1	Honorarios profesionales.....	209
Tabla 7.2	Remuneración a estudiantes.....	209
Tabla 7.3	Remuneración a no profesionales.....	209
Tabla 7.4	Misceláneos.....	209
Tabla 7.5	Costos de materiales para la construcción del horno.....	210
Tabla 7.6	Otros costos directos.....	212
Tabla 7.7	Fuente de financiamiento.....	214
Tabla 7.8	Tabla de ingresos y egresos.....	215
Tabla 7.9	Ingresos y egresos en 10 años.....	215
Tabla 7.10	Flujo neto de caja.....	216
Tabla 7.11	Relación costo beneficio.....	217

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Gusano de seda.....	1
Figura 2.1.	Gusano adulto iniciando el encapullamiento.....	7
Figura 2.2	Rodalinas con capullos.....	8
Figura2.3	Hilo de seda	9
Figura 2.4	Curva de secado.....	20
Figura 2.5	Períodos de secado.....	21
Figura 2.6	Procesos psicrométricos del secado.....	28
Figura 2.7	Flujo de calor a través de una pared.....	29
Figura 2.8	Pared plana.....	32
Figura2.9	Pared plana.....	34
Figura 2.10	Sistemas radiales.....	35
Figura2.11	Sistemas radiales.....	35
Figura2.12	Pared plana.....	37
Figura2.13	Pared cilíndrica.....	39
Figura2.14	Intercambiador de doble tubo.....	41
Figura2.15	Intercambiador de calor multitubo.....	41
Figura 2.16	Intercambiadores de flujo cruzado.....	42
Figura2.17	Distribución de temperatura.....	42
Figura2. 18	Arreglos comunes para los tubos de intercambiadores.....	44
Figura 2.19	Intercambiador tubular de cabezal fijo.....	45
Figura 2.20	Deflectores.....	46
Figura 2.21	Deflectores segmentados.....	46
Figura 2.22	Deflectores de disco y corona.....	46
Figura2. 23	Deflector de orificio.....	47

Figura2.24	Disposición del haz de tubos.....	48
Figura 2.25	Esquema del secado por aire caliente.....	51
Figura2.26	Esquema del secado al vacío.....	56
Figura2.27	Esquema del secado por superficies calientes.....	57
Figura2.28	Esquema del secado por radiación.....	58
Figura 2.29	Velocidad de llama de diversos tipos de combustibles.....	66
Figura2.30	Quemador a gas.....	73
Figura 2.31	Esquema de quemador de gas con mezcla en el horno.....	74
Figura 2.32	Esquema de quemador de gas con premezclado total.....	75
Figura 2.33	Funcionamiento del quemador atmosférico.....	76
Figura 2.34	Funcionamiento del quemador aire/gas.....	76
Figura 2.35	Sistemas de llamas piloto.....	77
Figura 2.36	Producción mundial de seda.....	98
Figura 2.37	Precio seda cruda.....	98
Figura 3.1	Secadora de capullos con estantes.....	107
Figura 3.2	Secadora de pisos sobre puestos.....	108
Figura 3.3	Secadora de banda continua.....	109
Figura 3.4	Quemador atmosférico tipo circular.....	111
Figura 3.5	Quemador atmosférico tipo flauta.....	111
Figura 3.6	Quemador industrial tubular.....	112
Figura 3.7	Prototipo del horno secador.....	117
Figura 4.1	Dimensiones externas de un capullo de seda.....	118
Figura 4.2	Vista de corte de un capullo de seda.....	119
Figura 4.3	Capullo considerándole como prisma.....	121
Figura 4.4	Disposición de la cámara de secado.....	124
Figura 4.5	Pared de la cámara de secado.....	137
Figura 4.6	Disposición del tubo para el calentamiento del aire.....	142
Figura 4.7	Pared del tubo.....	147
Figura 4.8	Pared de la cámara de combustión.....	151

Figura 4.9	Cámara de combustión.....	154
Figura 4.10	Pared de la cabina donde se alojan los tubos.....	156
Figura 4.11	Cabina donde se alojan los tubos.....	157
Figura 4.12	Plenun y chimenea.....	158
Figura 4.13	Procesos psicrométricos del secado para los capullos.....	162
Figura 4.14	Pérdidas de presión del aire.....	165
Figura 4.15	Conducto de entrada. Vista superior.....	166
Figura 4.16	Entrada a los tubos. Vista superior.....	168
Figura 4.17	Resistencia debido a codos de 90° de tubería.....	171
Figura 4.18	Salida del aire de los tubos al acople.....	172
Figura 4.19	Ingreso a la cámara de secado.....	175
Figura 4.20	Soporte del intercambiador de calor.....	178
Figura 4.21	Soporte base estructural.....	179
Figura 4.22	Asignación de carga de presión 1.	180
Figura 4.23	Asignación de restricciones.....	180
Figura 4.24	Ejecución de análisis.....	181
Figura 4.25	Resultados de esfuerzos.....	181
Figura 4.26	Resultados de desplazamientos... ..	182
Figura 4.27	Resultados del factor de seguridad.....	182
Figura 5.1	Comprobación de medidas.....	190
Figura 5.2	Cámara de combustión.....	190
Figura 5.3	Cámara de combustión con ladrillo refractario.....	191
Figura 5.4	Tubo de 1" con 5 pasos para el intercambiador de calor.....	192
Figura 5.5	Perforaciones de 1" utilizando la mandrinadora.....	192
Figura 5.6	Lámina de 3 mm con 22 perforaciones de 1".....	193
Figura 5.7	Intercambiador de calor.....	193
Figura 5.8	Tiro.....	194
Figura 5.9	Suelda del tiro.....	194
Figura 5.10	Tiro acoplado al intercambiador de calor.....	194
Figura 5.11	Corte de tubos.....	195
Figura 5.12	Suelda de los tubos 1 ¼" y 1".....	196
Figura 5.13	Estructura de la cámara de secado.....	196
Figura 5.14	Doble de las láminas.....	197
Figura 5.15	Lámina con lana de vidrio.....	197

Figura 5.16	Ensamble de la cámara de secado.....	197
Figura 5.17	Bandeja de alojamiento con malla de amianto.....	198
Figura 5.18	Bandeja de recolección.....	198
Figura 6.1	Pegada de ladrillos refractarios.....	199
Figura 6.2	Montaje del intercambiador de calor.....	199
Figura 6.3	Manga de salida.....	200
Figura 6.4	Cámara de secado acoplada.....	200
Figura 6.5	Centralina para cuatro tomas.....	200
Figura 6.6	Manómetro de 25 bares.....	201
Figura 6.7	Acople del quemador.....	201
Figura 6.8	Panel de control.....	201
Figura 6.9	Empaques.....	202
Figura 6.10	Horno secador de capullos de seda operando.....	202
Figura 6.11	Pérdida de humedad de la muestra.....	207
Figura 6.12	Grado de secado de la muestra.....	207
Figura7.13	Recuperación de la inversión.....	217

RESUMEN

Las actividades del campo en nuestro país, constituye una de los principales ingresos económicos. Así pues, una actividad que esta ingresando en el país es la producción de capullos de seda, llamada sericultura.

El capullo de seda esta principalmente compuesto por la pupa y la corteza del capullo. La pupa es el gusano en forma de crisálida; es decir esta en proceso de transformación de gusano a mariposa, en cambio la corteza del capullo, es la seda a emplearse en la elaboración de prendas de vestir.

Una de las etapas indispensables en el proceso industrial de la seda es el secado de los capullos frescos. El capullo fresco al contener una pupa viva, y al llegar aproximadamente a los 15 días después del encapullado, ésta rompe la corteza del capullo. Además, el contenido de agua en el capullo deteriora su calidad, causando la presencia de hongos durante su almacenamiento por largo tiempo. Por lo tanto, es necesario deshidratar o secar la corteza y pupa para que los capullos resistan el almacenamiento hasta el procesamiento del hilo de seda. Lográndose de esta manera precios bajos por los capullos de seda, en épocas de abundancia o lo que es más el desechar la producción con las considerables pérdidas económicas.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como propósito el diseño y la construcción de un horno secador de capullos de seda para la Hacienda “Zoila Luz”, perteneciente al Instituto Agropecuario Superior Andino, IASA II de la Escuela Politécnica del ejército ESPE, utilizando materiales disponibles en el mercado nacional y el laboratorio de máquinas herramientas de la ESPE.

El capítulo 2 presenta las diferentes técnicas de secado, sus ventajas y desventajas, así como las condiciones de secado de capullos de seda, características del aire atmosférico (psicrometría). También se menciona las formas de conducción de calor, intercambiadores de calor, combustibles y la combustión, además una descripción de los quemadores.

El capítulo 3 básicamente trata de la selección de las alternativas más viables tanto del tipo de quemador y secadora de capullos de seda. Esta alternativa factible se lo realiza a través de una matriz de decisión.

El capítulo 4 corresponde al diseño térmico y estructural de la secadora. El diseño térmico empieza por dimensionar la cámara de secado, Cálculo del calor sensible y latente para deshidratar los capullos, pérdidas de calor, número de tubos del intercambiador de calor, cantidad de gas licuado de petróleo requerido, relación aire combustible, cantidad de aire atmosférico para el secado, Cálculo de las pérdidas de presión del aire impulsado por el ventilador, y finalmente la selección del ventilador. El diseño estructural consta básicamente de una simulación en el programa Cosmos Works de las bases de la estructura donde se acopla el intercambiador de calor.

El capítulo 5 concierne a la construcción, la cual esta dividida principalmente en dos partes que son: el intercambiador de calor y la cámara de secado.

El intercambiador corresponde a uno de flujo cruzado de 5 pasos con arreglo triangular, consta de 22 tubos de 1" por el cual circula en su interior el aire impulsado por un ventilador centrífugo hacia la cámara de secado, y por fuera de los tubos se hace circular los gases de combustión emitidos por un quemador tubular electrónico. El quemador esta alojado en la cámara de combustión, la misma que tiene en sus paredes ladrillo refractario. Las paredes del intercambiador de calor tienen aislante térmico 2". Además consta de la construcción del tiro para la salida de los gases de combustión.

La cámara de secado esta construida para 4 bandejas donde están los capullos de seda, además de 3 compuertas para inspeccionar el producto y la cámara de distribución de aire. Todas las paredes tienen lana de vidrio de 2".

El capítulo 6 se refiere a la instalación y pruebas. Luego de haberse construido y realizado pruebas de funcionamiento sin producto en el laboratorio, fue transportado a su lugar de operación, junto a los talleres de mecánica y carpintería de la hacienda "Zoila Luz", para posteriormente ser instalado y puesto en marcha. A continuación se procedió a realizar las respectivas pruebas de secado, con capullos frescos.

El capítulo 7 contiene el análisis económico y financiero del proyecto, donde se determino el costo total del horno, el consumo de energía eléctrica y gas licuado de petróleo que tendría por año. Para finalmente comprobar que el proyecto es rentable para la entidad beneficiaria.

En conclusión se comprobó que el grado de secado de los capullos esta acorde con las expectativas presentadas, además de su calidad y apariencia final de los capullos secos.

En los anexos se presentan los planos, diagramas de operaciones y procesos, catálogos de los equipos adquiridos, manual de funcionamiento, fotografías y el respectivo manual de mantenimiento con su tabla de diagnóstico de fallas.