

**INFORME FINAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA EN PEQUEÑOS TALLERES DE  
ARTESANÍA Y ELABORACIÓN DE MUEBLES EN LA COMUNIDAD DE SARCHÍ**

**RESPONSABLES:**

**ING. CARLOS MATA MONTERO**

**MÁSTER MARÍA DE LOURDES MEDINA ESCOBAR**

**ING. ELIGIO ASTORGA**

**ING. IGNACIO DEL VALLE**

**ING. CYNTHIA SALAS**

**Cartago**

**Enero 2008- Julio 2010**

## Tabla de contenidos

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>2. PALABRAS CLAVES</b> .....	<b>7</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
3.1 ANTECEDENTES.....	7
3.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	8
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	9
3.4 OBJETIVOS .....	10
3.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	10
3.4.2 <i>Objetivos específicos e Indicadores</i> .....	10
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
4.1 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO: .....	11
4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	11
4.2.1 <i>Investigación no experimental:</i> .....	12
4.2.2 <i>Investigación documental:</i> .....	12
4.2.3 <i>Investigación cuasi-experimental:</i> .....	12
4.3 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN. ....	12
4.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	13
4.4.1 <i>Actividades formativas-informativas:</i> .....	13
4.4.2 <i>Entrevistas abiertas y cuestionarios</i> .....	13
4.4.3 <i>Recopilación de información sobre el uso y tratamiento de los residuos de la borucha y aserrín.</i> .....	13
4.5 DISEÑO DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	14
4.5.1 <i>Tabulación y análisis de los datos de la encuesta:</i> .....	14
4.5.2 <i>Cálculo del volumen de materia prima:</i> .....	14
4.5.3 <i>Desarrollo técnico del producto o proceso:</i> .....	14
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>15</b>
5.1 CARACTERIZACIÓN DE TALLERES Y GENERACIÓN DE RESIDUOS.....	15
5.2 DISCUSIÓN.....	21
5.3 ALTERNATIVAS VALORADAS: .....	23
<b>6. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN: HORNO SECADOR CON GASIFICADOR</b> .....	<b>25</b>
6.1 FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA GASIFICACIÓN.....	25
6.1.1 <i>PLANTA DE GAS POBRE</i> .....	25
6.2 TIPOS DE MATERIAS PRIMAS PARA GASIFICACIÓN .....	26
6.2.1 <i>Humedad del combustible</i> .....	27
6.3 TIPOS DE GASIFICADORES.....	27
6.3.1 <i>Gasificador de tiro ascendente o contracorriente</i> .....	27

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

---

6.3.2.	<i>Gasificador concurrente</i> .....	28
6.3.3	<i>Gasificador de flujo cruzado</i> .....	30
6.4	REACCIONES QUÍMICAS EN UN GASIFICADOR .....	31
6.5	REGLAS PARA EL DISEÑO DE GASIFICADORES DE TIRO DESCENDENTE .....	33
6.6	RENDIMIENTO DEL GAS.....	33
<b>7.</b>	<b>DISEÑO DEL GASIFICADOR</b> .....	<b>35</b>
7.1	CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR HÍBRIDO: .....	35
7.1.1	<i>Capacidad Relativa (CR)</i> .....	36
7.1.2	<i>Determinación de las dimensiones</i> .....	36
7.1.3	<i>Muestra de cálculo de operación</i> .....	40
7.1.4	<i>Representaciones gráficas de los componentes del secador</i> .....	41
<b>8.</b>	<b>EVALUACIÓN FINANCIERA</b> .....	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>DIVULGACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>11.</b>	<b>APORTES Y ALCANCES:</b> .....	<b>48</b>
<b>12.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS:</b> .....	<b>49</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA:</b> .....	<b>50</b>
<b>APÉNDICE A</b>	.....	<b>52</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1: Parámetros para el cálculo de tamaño de muestra para el estudio .....	11
Tabla 2: Extensión geográfica del distrito de Valverde Vega, según Distrito.....	15
Tabla 3: Especies y cantidades de madera utilizada por mes para la elaboración de muebles y artesanías .....	16
Tabla 4: Frecuencia de uso de material según tipo de producto.....	18
Tabla 5: Peso de los residuos de madera clasificados según tipo.....	19
Tabla 6: Valores típicos de composición del gas producido en gasificadores según materia prima empleada .....	27
Tabla 7: Hoja de Cálculo del Gasificador Descendente de garganta sencilla.....	40
Tabla 8: Estimación de inversión inicial requerida para la realización del proyecto .....	43
Tabla 9: Estimación de costos fijos y variables .....	44
Tabla 10: Detalle de información considerada para la estimación de costos.....	44
Tabla 11: Valor Actual Neto para un plazo de 5 años .....	45

## Índice de Figuras

Figura 1: Distribución geográfica de los Talleres encuestados .....	15
Figura 2: Distribución porcentual de las cantidades de madera utilizada según especie.....	17
Figura 3: Distribución porcentual de las maderas "poco críticas" .....	17
Figura 4: Cantidad mensual de desecho en metros cúbicos según tipo. ....	19
Figura 5: Frecuencia de mención de las opciones uso actual de los desechos de madera .....	20
Figura 6: Ingresos y egresos reportados por los Talleristas asociados al manejo de los desechos de madera.....	21
Figura 7: Diagrama de una planta para la utilización de gas pobre .....	25
Figura 8: Esquema de Gasificador de flujo contracorriente.....	28
Figura 9: Gasificador de flujo descendente o de contracorriente .....	29
Figura 10: Gasificador de flujo cruzado.....	31
Figura 11: Diagrama de diseño de gasificador .....	35
Figura 12: relación de la distancia relativa de aire a garganta y el diámetro de la garganta vs capacidad .....	37
Figura 13: Relación entre diámetro de entrada de aire y el diámetro de garganta .....	37
Figura 16: Secador Híbrido (solar-gasificador) de madera.....	38
Figura 14: Velocidad de entrada del aire vs capacidad.....	38
Figura 15: hr/dt versus diámetro de garganta .....	38
Figura 17: representación isométrica del gasificador, corte transversal .....	41
Figura 18: representación isométrica del gasificador, detalle exterior .....	41
Figura 19: Diseño del Intercambiador de Calor .....	42
Figura 20: Diagrama interno del Intercambiador de Calor .....	42
Figura 21: Modelo del Horno de secado con sistema de gasificación .....	42
Figura 22: Intercambiador de calor.....	42

## UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA EN PEQUEÑOS TALLERES DE ARTESANÍA Y ELABORACIÓN DE MUEBLES EN LA COMUNIDAD DE SARCHÍ

### RESPONSABLES:

ING. CARLOS MATA MONTERO, MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS,  
[CAMATA@ITCR.AC.CR](mailto:CAMATA@ITCR.AC.CR), INVESTIGADOR PRINCIPAL

MARÍA DE LOURDES MEDINA ESCOBAR, MÁSTER EN QUÍMICA INDUSTRIAL,  
[MMEDINA@ITCR.AC.CR](mailto:MMEDINA@ITCR.AC.CR)

ING. ELIGIO ASTORGA, INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL (*BACHILLERATO  
UNIVERSITARIO*), [EASTORGA@ITCR.AC.CR](mailto:EASTORGA@ITCR.AC.CR)

ING. IGNACIO DEL VALLE, MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE LA INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA, CON ÉNFASIS EN ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA,  
[IDELVALLE@ITCR.AC.CR](mailto:IDELVALLE@ITCR.AC.CR)

ING. CYNTHIA SALAS, MÁSTER EN EVALUACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS,  
[CYSALAS@ITCR.AC.CR](mailto:CYSALAS@ITCR.AC.CR) .

## **1. Resumen**

La transformación de madera para la elaboración de muebles y productos artesanales es una fuente importante de ingresos para la comunidad; sin embargo, los desechos generados a partir de los procesos productivos representan un problema ambiental, financiero y de espacio. El objetivo de esta investigación fue contribuir con el mejoramiento del desempeño (financiero, laboral y ambiental) de las empresas asociadas a COOPEARSA y la Asociación de Muebleros y Artesanos por medio de la re-utilización de los residuos de madera procedentes del proceso de fabricación de muebles y artesanías.

A partir de la recolección de información de la cantidad de desechos y de la revisión de las diversas alternativas disponibles para el re-uso de éstos, se planteó el diseño y se desarrolló el modelo de un secador híbrido con un sistema de gasificación incorporado con el cual la comunidad de artesanos y muebleros pudiera obtener el beneficio del secado de la madera que utilizan y a la vez la eliminación de los residuos de los talleres.

Los estudios de mercado, técnico y financiero realizados arrojan resultados positivos para la implementación de esta tecnología.

## **2. Palabras claves**

Gasificación, residuos de madera, micro empresas, Higiene Industrial, gas pobre.

## **3. Introducción**

### ***3.1 Antecedentes***

Sarchí es una comunidad localizada en el cantón de Valverde Vega, cuya principal actividad económica es la producción de muebles y artesanías y donde se ubican más de 200 pequeños talleres de madera (Ministerio de Salud, 2000).

Un grupo importante de estos artesanos están incorporados en dos organizaciones: COOPEARSA (Cooperativa de Artesanos de Sarchí) y ASOARTE (Asociación de Artesanos de Sarchí). En coordinación con estas dos organizaciones, en los años 2006 y 2007 se desarrolló un proyecto relacionado con exposición ocupacional a polvo de madera en una muestra de talleres en dicha comunidad. Durante la ejecución del proyecto se observó la gran cantidad de desechos producidos por cada taller, entre los que se encuentran aserrín, borucha y trozos sólidos de madera (llamada cabería). Cuando se consultó a los dueños de los talleres “¿qué hacen con los residuos de la madera?”, se indicó que una parte era recolectada por la municipalidad como basura industrial y el resto se regalaba para las granjas de pollos, crianza de cerdo y caballerías o como leña.

La transformación de madera para la elaboración de muebles y productos artesanales es una fuente importante de ingresos para la comunidad ya que son muchas las familias que dependen de esta actividad, por lo que se consideró que un proyecto en que se pudiera dar valor agregado a los residuos podría contribuir a mejorar su calidad de vida.

Finalmente, el proyecto tuvo un importante valor académico, al permitir a investigadores y talleristas trabajar en forma conjunta, generando una experiencia concreta de aprendizaje en ambos sentidos y enriqueciendo el quehacer académico de los participantes. El proyecto permitió a las Escuelas involucradas contar con información para el estudio de casos concretos que consideran la realidad de pequeñas y micro empresas nacionales.

### ***3.2 Revisión Bibliográfica***

El polvo de madera es un material que se genera en los procesos de transformación de madera y está compuesto de una gran cantidad de sustancias que cambian de acuerdo con el tipo de especie de árbol y la geografía. Entre estas sustancias se pueden encontrar ácidos, ceras, terpenos, gliceroles, taninos, ligninas, alcaloides y materiales inorgánicos, por citar algunos. (Meo, S.A, 2004).

Además de los compuestos propios de la madera, se adicionan algunos otros para darle propiedades deseadas al producto como dureza, durabilidad, resistencia a plagas y humedad. Entre estos agentes se encuentran las gomas, disolventes, pinturas y fenoles que representan una fuente de exposición para los trabajadores. Sin embargo, estudios revelan que la exposición al polvo de madera es la que representa un mayor riesgo para la salud (IARC, 1995).

El polvo de madera ha sido estudiado extensamente en los últimos años y sus efectos a la salud van desde estornudos hasta cáncer nasal. Un gran número de estudios han demostrado que la exposición ocupacional a polvo de madera causa incrementos en los síntomas respiratorios a niveles tan bajos como 2 mg/m<sup>3</sup>.

Bellion, Mattei, y Treves (NIOSH a/Ex. 1-1005, 1987) encontraron que 97 de 225 trabajadores (carpinteros, aserraderos y artesanos) expuestos entre 3 y 24 años al polvo de diferentes tipos de maderas duras mostraron evidencia radiológica de anormalidades musculares. Black, Evans, Hadfield et al. (NIOSH/Ex. 1-299, 1974) estudiaron nueve trabajadores de madera en una empresa de manufactura inglesa. Para todos los trabajadores, se encontró una depresión marcada del movimiento mucociliar.

La asociación entre exposición ocupacional a polvo de madera y varios tipos de cáncer ha sido explorada en muchos estudios y países (Demers et al, 1995). En 1987 la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasificó la manufactura de muebles en la categoría I (cancerígeno para humanos confirmado) y la carpintería en la categoría 2B (se sospecha que pueda ser cancerígeno para humanos).

En Costa Rica, existen estudios realizados en el cantón de Valverde Vega, en los que se evidencia con claridad la situación de exposición ocupacional de los artesanos y muebleros con valores varias veces por encima de los niveles permitidos (Mata, 2006).

En la actualidad, los residuos del proceso representan un problema para los artesanos y ebanistas ya que generan más de los que pueden reutilizar y en consecuencia, los acumulan en los talleres hasta que pueden deshacerse de ellos.

El ITCR ha trabajado con los artesanos de Sarchí en dos proyectos, con el fin de ayudarlos a resolver el problema de exposición al polvo de madera. En una primera etapa se hicieron evaluaciones de exposición ocupacional a polvo de madera que arrojaron como resultado la necesidad de una segunda etapa en la que se plantearon alternativas de control para disminuir las cantidades del agente químico en el ambiente de trabajo.

Durante un recorrido por algunos de los talleres de fabricación de artesanías y muebles en Sarchí fue posible observar que a pesar de la disminución de los niveles de polvo en la fuente debido a la implantación de controles ingenieriles y no ingenieriles; la recolección y disposición de los residuos se vuelve cada vez más difícil de manejar, ya que deshacerse de ellos puede representar un costo ya sea directo o indirecto para el dueño.



En muchos casos los propietarios manifestaron que para su eliminación dependían de la periodicidad con que los usuarios llegaran a los talleres a llevarse los desechos y que en alguna medida podría ocasionar una ocupación de espacio en el taller o la necesidad de pagar transporte para su disposición, con el agravante de que no se sabe a dónde van a parar esos productos. Otra situación que se registró (cuando el taller se ubicaba en una finca o lote grande), fue la acumulación del material sobrante en los alrededores provocando un posible aumento en la incidencia del riesgo de contraer enfermedades relacionadas a este polvo así como de ocasionar incendios. Además, durante la época de verano, el aserrín es transportado por el viento provocando contaminación tanto para el taller como para los vecinos.

En algunos países como Suecia y Estados Unidos, se está utilizando el residuo de madera en varios proyectos con el fin de aprovechar este material para generar energía o productos reciclados (biomasa, bio-combustible, fabricación de aglomerados, etc.) que no sólo representan un ingreso más para los productores de muebles y artesanías, sino que además contribuye con la salud de los trabajadores y del ambiente.

### ***3.3 Tipo de investigación***

El presente estudio tuvo un enfoque primordialmente cuantitativo. Conforme con la clasificación de Danhke (1989) referida por Hernández (2003), el estudio puede catalogarse como descriptivo en su fase diagnóstica, toda vez que permitió especificar las características de los patrones de generación y uso de residuos de madera en las empresas incluidas. Sin embargo, es la Investigación Aplicada la que mejor puede caracterizar el estudio, lo anterior en consonancia de la definición ofrecida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para este tipo de investigación: “Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, están dirigidos fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico”. (CONICIT, 2007)

Como un medio para colaborar con este sector, se propuso con este proyecto, identificar un grupo de talleres en los que se realizó un estudio en el que a partir de la cantidad y tipo de residuo de madera que se genera, se presentara una alternativa de nuevo proceso o producto técnica y financieramente factible con el fin de reutilizar los residuos de los procesos de transformación de madera.

El nuevo proceso o producto contará además con un diseño en el que la seguridad laboral y la higiene industrial sean el eje principal, con el fin de contribuir con el sector, brindando prácticas de trabajo seguras y ambientes laborales donde la exposición a agentes químicos peligrosos sea menor que la actual.

En la comunidad de muebleros y artesanos de Sarchí, existe un gran potencial para la utilización de residuos de madera para fabricar nuevos productos o generar energía. La utilización de estos residuos traerá consigo beneficios no sólo económicos y ambientales, sino que además se espera contribuir a la disminución de las concentraciones de polvo de madera presentes en los ambientes de trabajo.

El uso de éstos residuos para generar energía no es un concepto nuevo; sin embargo, con la creciente dependencia de los combustibles fósiles y alto precio que éstos han alcanzado, se están empezando a buscar nuevas fuentes de energía renovables a nivel mundial y Costa Rica no es la excepción.

### **3.4 Objetivos**

#### **3.4.1 Objetivo General**

Contribuir con el mejoramiento del desempeño (financiero, laboral y ambiental) de las empresas asociadas a COOPEARSA y la Asociación de Muebleros y Artesanos por medio de la re-utilización de los residuos de madera procedentes del proceso de fabricación de muebles y artesanías.

Desde una perspectiva general, el proyecto pretende promover una mejor calidad de vida, mediante el mejoramiento de las condiciones de trabajo entre los pequeños talleres dedicados a la elaboración de artesanías y muebles, agremiados a COOPEARSA y ASOARTE, toda vez que se podrá ofrecer una alternativa para dar valor a los desechos que de otra forma pasarían a rellenos sanitarios o usos no controlados.

#### **3.4.2 Objetivos específicos e Indicadores**

Los objetivos específicos fueron formulados considerando los resultados finales y la diseminación de los mismos entre las organizaciones.

- Identificar las condiciones actuales de generación, manejo y recolección de residuos de madera en los talleres participantes.
- Plantear dos alternativas de nuevos procesos y/o productos a base de residuos de madera provenientes de la fabricación de muebles y artesanías.
- Desarrollar el prototipo de producto o proceso a base de residuos de madera en que se incorpore el componente de seguridad e higiene en los procesos de manejo de materiales y manufactura del producto, siendo financieramente rentable para las organizaciones.

## 4. Metodología

### 4.1 Población y muestra del estudio:

Elección de empresas: Los talleres involucrados en el primer objetivo fueron elegidos tomando como marco poblacional las listas de asociados a COOPEARSA y ASOARTE (70 talleres). Estas listas no contaban con información descriptiva de las variables de interés en este estudio (cantidad de desechos, operaciones realizadas, consumo de madera), por lo cual se realizó una encuesta preliminar telefónica consultando a los empresarios si contaban con alguna(s) opción(es) para el uso de desechos de madera que le generara valor a su negocio. Esta encuesta se realizó a diez empresarios pertenecientes a las organizaciones anteriormente indicadas. El número de unidades muestrales (empresas) fue calculado para un error estándar menor a 0,10 utilizando las siguientes ecuaciones:

$$n = \frac{N \cdot se}{N \cdot se + V^2}, y$$

$$n = \frac{N \cdot se}{N \cdot se + V^2}$$

A continuación se muestran los valores utilizados para el cálculo del tamaño de muestra:

Tabla 1: Parámetros para el cálculo de tamaño de muestra para el estudio

	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
N	Número de empresas según listados de organizaciones	70
y	Opción de uso de desechos de madera que genere valor al negocio por empresa	0,1
se	Error estándar	0,1
V <sup>2</sup>	Varianza de la población	0,01
s <sup>2</sup>	Varianza de la muestra: Probabilidad de que las empresas cuenten con una alternativa de uso a los desechos de madera	0,09
n`	Tamaño de muestra sin ajustar	90
n	Tamaño de muestra	39

En el presente estudio se realizó la entrevista a 46 empresas, las cuales fueron elegidas primordialmente entre las asociadas a alguna de las dos organizaciones contrapartes. La elección específica se realizó con base en las referencias de las personas de las Juntas Directivas de las organizaciones contrapartes así como contactos establecidos por el equipo de investigación en estudios anteriores con la misma población.

### 4.2 Diseño de investigación

Por la naturaleza tecnológica de este proyecto se propuso un diseño mixto en el cual se contemplaron elementos de investigación no experimental e investigación experimental como se detalla a continuación:

#### 4.2.1 Investigación no experimental:

El componente de investigación no experimental de tipo transversal, se relacionó con el primer objetivo específico, en el cual se recolectaron los datos durante el periodo del estudio que permitió recopilar información con fines descriptivos.

#### 4.2.2 Investigación documental:

Para atender el segundo objetivo específico se realizó una investigación de tipo documental que permitiera identificar un conjunto de opciones que fuesen viables para solucionar el problema.

#### 4.2.3 Investigación cuasi-experimental:

El componente de investigación cuasi-experimental del presente proyecto estuvo vinculado con el cumplimiento del tercer objetivo específico, en particular en lo referente a las pruebas para el diseño y desarrollo del prototipo de la alternativa de solución. Las variables estudiadas fueron: el consumo de material combustible y la cantidad de energía generada, teniendo la temperatura de salida del gas como variable de control. Los mecanismos de control utilizados en el cuasi-experimento fueron la temperatura del secador y la humedad relativa en el prototipo y la temperatura de salida del gas en el gasificador.

### 4.3 *Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.*

Objetivo	Métodos, técnicas e instrumentos
Identificar las condiciones actuales de generación, manejo y recolección de residuos de madera en los talleres participantes.	Levantamiento de marco muestral y elección de la muestra. Entrevista no estructurada telefónica preliminar. Encuesta a empresas sobre generación, manejo y recolección de residuos de madera. Identificación de relaciones para la comparación de resultados de volumen de desechos de madera entre diferentes empresas y proyección. Análisis de información con estadísticas descriptivas.
Desarrollar el prototipo de producto o proceso a base de residuos de madera en que se incorpore el componente de seguridad e higiene en los procesos de manejo de materiales y manufactura del producto siendo financieramente rentable para las organizaciones.	Revisión de información científica y tecnológica. Entrevistas no estructuradas a empresarios del sector maderas. Reuniones con miembros de Juntas Directivas de las dos organizaciones contrapartes y el equipo de investigación.
Plantear dos alternativas de nuevos procesos y/o productos a base de residuos de madera provenientes de la fabricación de muebles y artesanías.	Identificación de alternativas de nuevos procesos o productos considerando la información derivada de la encuesta. Elección de una de las alternativas en proceso negociado con las Juntas Directivas de las organizaciones contrapartes.
Desarrollar el prototipo de producto o proceso a base de residuos de madera en que se incorpore el componente de seguridad e higiene en los procesos de manejo de materiales y manufactura del producto siendo financieramente rentable para las organizaciones.	Cálculo de necesidades de energía calórica para mantener temperaturas de secado (energía solar-gasificador). Cálculo de capacidad de ventiladores para recirculación del aire caliente dentro del secador. Cálculo de capacidad del intercambiador de calor. Control de temperatura, control de volumen de consumo de materiales combustibles, medición de tiempos.

#### **4.4 *Procedimientos de recolección de información.***

##### **4.4.1 Actividades formativas-informativas:**

Se desarrollaron dos charlas, las cuales se llevaron a cabo en Sarchí. Estas actividades permitieron informar a los participantes de los alcances del proyecto y además recolectar importante información sobre los procesos productivos de los talleres, las iniciativas (exitosas y no exitosas) que se desarrollaron para disponer del polvo de madera y los obstáculos encontrados para llevarlas a cabo.

A principios del 2010, se realizó una reunión con los representantes de las asociaciones para informales sobre la elección del prototipo que fue desarrollado.

##### **4.4.2 Entrevistas abiertas y cuestionarios**

Se elaboró un formato de encuesta higiénica para recolectar información sobre los principales mecanismos para la recolección, almacenamiento y disposición actual de los desechos de los procesos.

También se recolectó información sobre cantidad, tipo y tamaño del mismo, para poder cuantificar el volumen de desecho que producen los talleres en el cantón de Valverde Vega, y clasificarlos en aserrín, borucha y cabos. El aserrín es un material muy fino, la borucha es el material de mayor tamaño que usualmente sale en forma de colcho o como partícula grande y cabos que son trozos de madera que por defecto de la pieza o por tamaño no se puede utilizar en la elaboración del producto.

En el apéndice A se puede observar que la encuesta permite la obtención de los siguientes parámetros:

- a.1 Datos generales del taller
- a.2 Equipo y herramientas usados en el proceso de fabricación de productos
- a.3 Productos elaborados por cada taller
- a.4 Especies de maderas utilizables en el proceso de fabricación de productos
- a.5 Volumen de residuo generado según clasificación establecida

La aplicación de dicha encuesta fue para 46 talleres y se realizó durante abril-septiembre de 2008.

##### **4.4.3 Recopilación de información sobre el uso y tratamiento de los residuos de la borucha y aserrín.**

Se hizo una revisión bibliográfica sobre el tipo de aplicaciones industrializadas y artesanales en las que actualmente se reutilizan estos residuos. En el caso de usos industriales, se analizaron los tipos de equipos que se utilizan, grado de automatización y volúmenes a manejar de residuos.

## **4.5 *Diseño de procesamiento y análisis de datos***

### **4.5.1 Tabulación y análisis de los datos de la encuesta:**

Mediante la hoja electrónica EXCEL de Microsoft Office, se procedió a tabular la información resultante de la encuesta, utilizando estadística descriptiva, particularmente medidas de tendencia central y representación gráfica de los datos.

### **4.5.2 Cálculo del volumen de materia prima:**

Una vez definido el grupo piloto, se realizaron mediciones del volumen de material de desecho del proceso de cada taller. Además, se determinaron las variables de granulometría de las partículas y su respectivo volumen, previo establecimiento de rangos.

Con esta información, se realizaron las proyecciones para la cantidad y tipo de residuo que se podría recolectar en todos los talleres pertenecientes a las dos asociaciones.

A grandes rasgos, en la literatura se consideraron dos grandes aplicaciones para los residuos:

- ‡ Aglomerados de diferentes formas.
- ‡ Coadyuvar como energético en los generadores de calor (Hornos).

### **4.5.3 Desarrollo técnico del producto o proceso:**

Con la información recolectada en la literatura y los datos de generación y manejo de residuos de los talleres se definió una alternativa de proceso y se realizaron los estudios de factibilidad técnica y financiera.

En forma paralela, se desarrolló el diseño del prototipo y las directrices de seguridad que deben seguirse para proteger a los trabajadores de los riesgos tanto de seguridad como de agentes físicos y químicos.

## 5. Resultados y Discusión

### 5.1 Caracterización de talleres y generación de residuos

La encuesta que se muestra en el Apéndice A fue aplicada a 46 empresas que emplean un total de 270 trabajadores, con un promedio de 5,9 trabajadores/taller y una mediana para el número de personas empleadas de 4,5. El 75 % de las empresas tienen menos de 7 personas laborando, incluyendo al(los) propietario(s). La empresa más grande cuenta con 30 empleados y la más pequeña un solo trabajador (el propietario). Únicamente dos empresas tienen más de 20 personas. Conforme a la clasificación de empresas utilizada por la Caja Costarricense del Seguro Social la muestra incluyó 29 microempresas (menos de 5 empleados) y 17 pequeñas empresas (aquella que emplea entre 6 y 30 personas).

La distribución geográfica de las empresas muestra una clara concentración en los distritos de Sarchí Norte y Sarchí Sur. Como se muestra en la Figura 1 más del 96% de los talleres están ubicados en estos dos distritos.

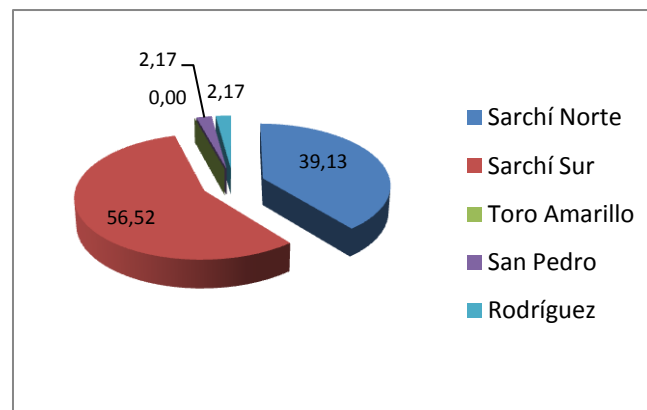


Figura 1: Distribución geográfica de los Talleres encuestados

Esta distribución no es proporcional a la distribución geográfica del Cantón de Valverde Vega, el cual tiene una extensión de 120 Km<sup>2</sup>. La distribución según distrito se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Extensión geográfica del cantón de Valverde Vega, según distrito

Distrito	Extensión (Km <sup>2</sup> )	%
Sarchí Norte	15,11	12,57
Sarchí Sur	6,51	5,41
Toro Amarillo	75,03	62,40
San Pedro	15,80	13,14
Rodríguez	7,80	6,49
<b>Total</b>	<b>120,25</b>	<b>100,00</b>

Fuente: División territorial del país según código. Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa

Es así que el 96% de los talleres se ubican en tan solo 18% del territorio del Cantón.

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

El tipo o especie de madera utilizada como materia prima se consideró importante para el presente estudio, con el fin de caracterizar la naturaleza cualitativa de los residuos generados en los talleres y contar con algún criterio respecto a su composición cuantitativa. Al respecto, los talleristas entrevistados reportaron como especies de madera o materiales para elaboración de muebles y artesanías los 28 que se detallan en la Tabla 3. Con los datos ofrecidos se estimó un consumo de 654 773 pulgadas cúbicas por mes. Las cantidades indicadas en la tabla corresponden a aproximaciones que se ofrecieron por parte de los informantes y no pretenden representar sumas exactas del consumo.

Tabla 3: Especies y cantidades de madera utilizada por mes para la elaboración de muebles y artesanías

Material	Cantidad/mes (pulgadas cúbicas)	Material	Cantidad/mes (pulgadas cúbicas)
Plywood	172 594	Níspero	7 666
Melina	137 000	Teca	6 500
Aglomerados	95 555	Nazareno	6 500
Guanacaste	56 020	Mora	6 300
Cenízaro	32 166	Ron Ron	6 300
Laurel	21 021	Cartón Liso	5 450
Fibrán	19 983	Jaul	5 300
Cedro	18 517	Fresno	1 500
Guapinol	10 500	Ciprés	1 500
Cocobolo	9 350	Pochote	1 500
Caobilla	8 050	Caoba	1 200
Corteza	7 666	Cedro Amargo	833
Almendro	7 666	Corteza Venado	300
Tamarindo	7 666	Pino	170

La distribución de las cantidades de los materiales utilizados muestra una importante concentración en algunos tipos o especies. En la Figura 2, se observa que esta distribución corresponde al principio de Pareto, es decir el 80% de la cantidad de los materiales consumidos por los talleres corresponde a tan solo el 20% de los tipos/especies (Regla de 80%-20%). Para este caso en particular, se tiene que el 79% del volumen utilizado corresponde a un 21% de los tipos de material o especies de madera mencionados.

Aunque no existe evidencia que permita afirmar que la cantidad de materiales consumidos conserva alguna relación con la cantidad de desechos generados, esta distribución sugiere una posible composición cualitativa de los residuos. Es de suponer que el costo de los materiales obliga a los talleristas a hacer un mejor uso del mismo, disminuyendo con ello la generación de residuos. Algunos de los talleristas ratifican este supuesto e indican que para las maderas más difíciles de conseguir (por lo tanto más costosas) tratan de planificar la pieza con mayor detalle y pensando en la utilización máxima del recurso.



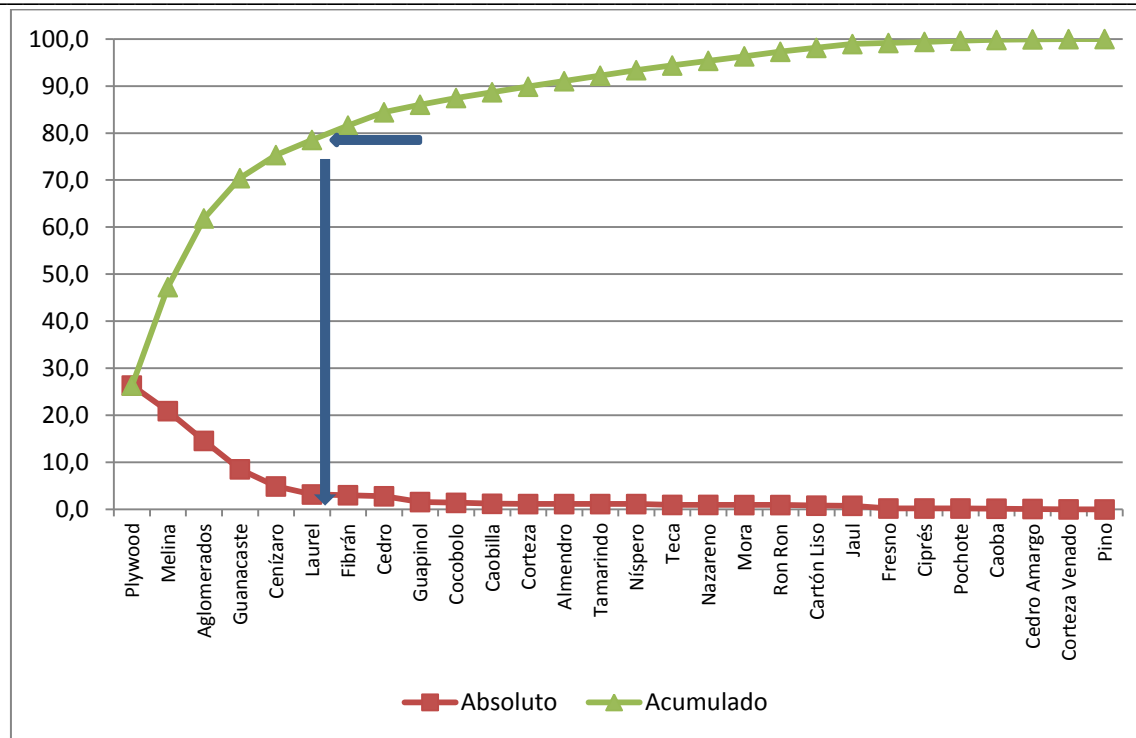


Figura 2: Distribución porcentual de las cantidades de madera utilizada según especie

Una mejor caracterización de estos materiales “críticos” puede observarse en la Figura 3. La madera de melina (según indican informantes proviene de plantaciones) y los materiales laminados y aglomerados son los más utilizados, sumando casi un 62% del consumo total. En general, estos materiales se presentan comercialmente en láminas que facilitan una mejor utilización de los mismos.

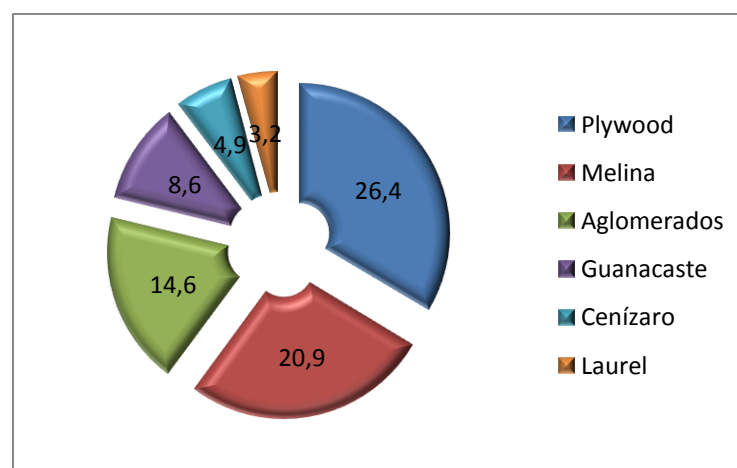


Figura 3: Distribución porcentual de las maderas "poco críticas"

Se solicitó a los entrevistados información sobre el uso de las especies según el tipo de producto que se elabora, con el fin de obtener una mejor comprensión de la generación de los residuos, ya que se indicó que a mayor estandarización de la producción se puede mejorar el rendimiento en el uso de la madera y con ello

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

desechar menos material. Es así que la mayor producción de cierto tipo de producto facilita la estandarización del mismo y con ello es menor la cantidad de residuos generados. Se indicó por parte de los muebleros y artesanos que las actividades de escultura y algunas artesanías son las que generan mayor cantidad de desechos, en tanto que las artesanías de algunos tipos son más bien consumidores de residuos de empresas dedicadas a la construcción de muebles. En la Tabla 4 se muestra la frecuencia de uso del material referida por los informantes según el tipo de producto.

Tabla 4: Frecuencia de uso de material según tipo de producto

Especie/ material	Comedor	Sala	Cocina	Oficina	Dormitorio	Artesanía y Escultura	Otros
Guanacaste	24	21	21	18	23	5	4
Cenízaro	21	17	17	0	19	1	5
Melina	14	12	14	11	16	1	4
Cedro	13	10	12	9	13	4	4
Laurel	9	8	8	7	8	1	0
Plywood	6	3	3	2	3	0	0
Teca	3	3	3	2	3	1	1
Aglomerados	2	0	0	0	0	0	0
Pino	2	1	1	1	1	0	0
Caobilla	2	3	2	2	2	0	0
Cedro Amargo	1	0	0	0	0	0	0
Caoba	1	0	0	1	1	0	0
Fresno	1	1	1	1	1	0	1
Pochote	1	1	1	1	1	1	0
Cristóbal	1	1	1	1	1	1	1
Madera cultivada	1	1	1	1	1	0	0
Fibrán	1	1	2	1	2	0	0
Cocobolo	0	0	0	0	0	4	0
Jaul	0	0	0	0	0	1	0
Ciprés	0	0	0	0	1	0	0
Guapinol	0	0	0	0	0	6	0
Nazareno	0	0	0	0	0	1	0
Mora	0	0	0	0	0	3	0
Ron-Ron	0	0	0	0	0	2	0
Corteza	0	0	0	0	0	3	1
Almendro	0	0	0	0	0	0	1
Tamarindo	0	0	0	0	0	0	1
Níspero	0	0	0	0	0	0	1
Guachipelín	0	0	0	0	0	2	0
Cartón Liso	0	0	1	0	0	0	0

Las maderas de Melina, Guanacaste y Cenízaro son nuevamente los tipos de madera mencionados con más frecuencia en los productos confeccionados en los talleres. La elaboración de artesanías tiene como principal insumo los residuos de los talleres, pero como puede verse en la Tabla 4, éste se concentra en las especies de maderas de poca o ninguna producción comercial (generalmente maderas duras de crecimiento lento). Puede suponerse que la recuperación de desechos de estas especies hace que su participación en el total de los mismos sea proporcionalmente menor que los de aquellas maderas no tan apreciadas por su apariencia.

En relación con el volumen de desechos generados en los talleres, se solicitó a los entrevistados que indicaran una estimación de los producidos en sus procesos. La información fue ofrecida en diferentes unidades (estañón, saco, carretillo, compartimiento de vehículo tipo pick-up, bolsas de jardín y cubetas) las cuales fueron convertidas a metros cúbicos por mes como unidad agregada para la estimación final.

Los desechos fueron clasificados en cuatro tipos, sugeridos por los mismos talleristas y que permiten una mejor caracterización de los mismos para valorar posibles alternativas a su uso (cabos de madera, borucha, aserrín y polvo). A continuación se muestran las cantidades según el tipo de desecho identificado:

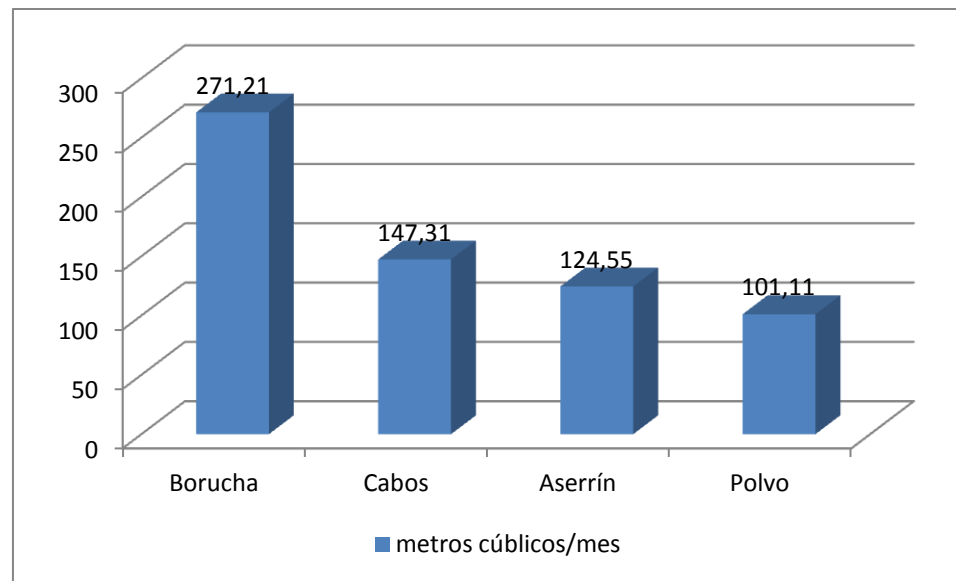


Figura 4: Cantidad mensual de desecho en metros cúbicos según tipo.

Puede observarse que el mayor volumen de los desechos generados son aquellos más grandes (borucha y cabos).

Para efectos de este proyecto, puede ser necesario conocer, además del volumen de los desechos, su peso, toda vez que el mismo puede ser un mejor indicador de su poder energético. Para tal fin se estimó una densidad para cada uno de los tipos de desechos que se consideraron para este estudio mediante pesado de los mismos en un volumen conocido y estas densidades fueron multiplicadas por la cantidad de desechos estimada (Tabla 5). Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5: Peso de los residuos de madera clasificados según tipo.

Tipo de residuo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cantidad/mes (Kg)
Cabos	350,63	51 651
Aserrín	190,74	23 757
Borucha	133,98	36 337
Total		111 745

El polvo de madera no está incluido en el cuadro anterior, dado que por sus características físicas, su manipulación y uso en procesos donde se persigue aprovechar el poder energético de los materiales, puede implicar riesgos de incendio y explosión. El control de este tipo de riesgos conlleva un incremento en los costos de cualquier propuesta que se ofrezca a los talleristas.

Con base en las estimaciones ofrecidas por los informantes, la generación de desechos es de 111.745 kilogramos por mes. Este valor se considera de suma importancia para la valoración de alternativas al uso de los mismos.

Para conocer el uso o destino actual por tipo de desecho, los talleristas refirieron las opciones que se muestran en la Figura 5. Los valores indicados en cada una de las columnas corresponden a la frecuencia con que cada uso/destino fue mencionado:

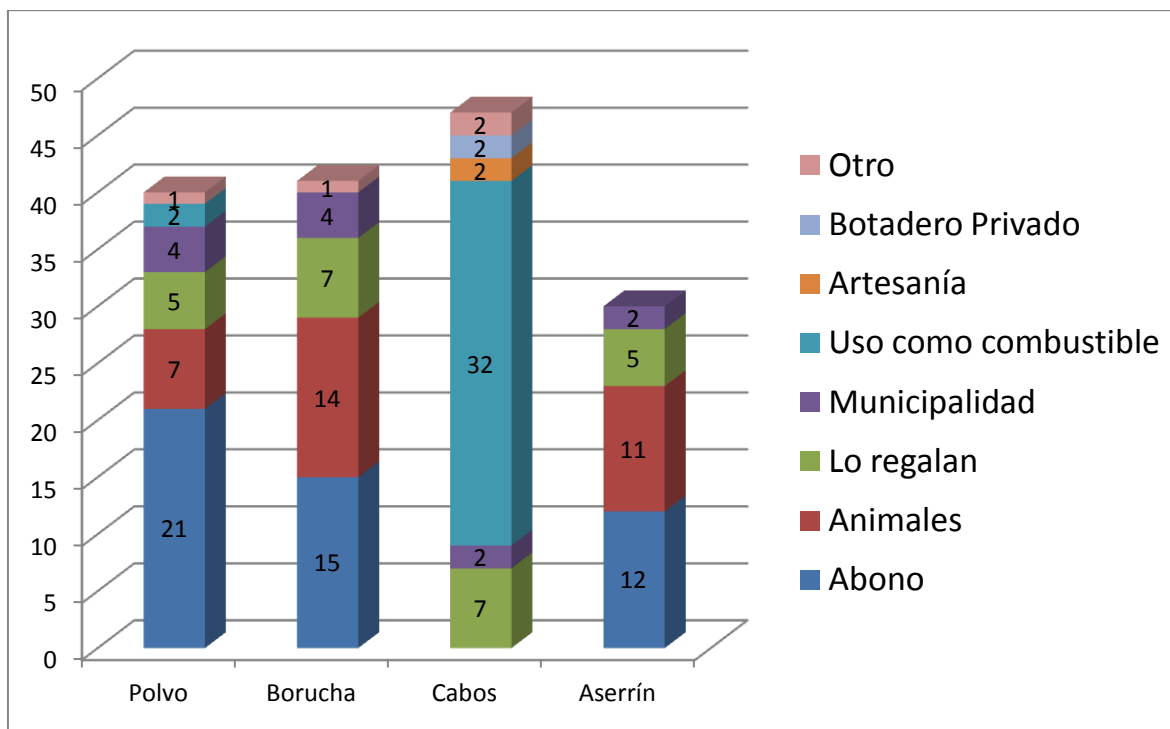


Figura 5: Frecuencia de mención de las opciones de uso actual de los residuos de madera

El uso/destino de los residuos como abono fue la opción más mencionada para todos los tipos, excepto en el caso de los cabos. Esta opción comprende el uso principalmente en cafetales que se encuentran cerca de los talleres y la recolección de los mismos por parte de viveros de plantas ornamentales y helechos ubicados en el mismo cantón. En segundo lugar se mencionó el uso en granjas de animales (aves, cerdos y vacas) nuevamente con excepción de los cabos de madera. El primer uso/destino mencionado para los cabos y tercero para los otros tipos de desechos es regalarlo a personas que lo soliciten, sin conocer el destino que se le dará a los mismos; sin embargo, los talleristas suponen que en la mayoría de los casos su uso será como combustible en casas de habitación. Para todos los tipos de residuos, esta última opción es seguida por el uso de los servicios de recolección municipal. La frecuencia para esta categoría es el doble en los casos de polvo y borucha (material más pequeño) respecto a los cabos y el aserrín. Merece particular atención el uso de los cabos como combustible, ya que fue la categoría que tuvo la mayor mención (32 casos).

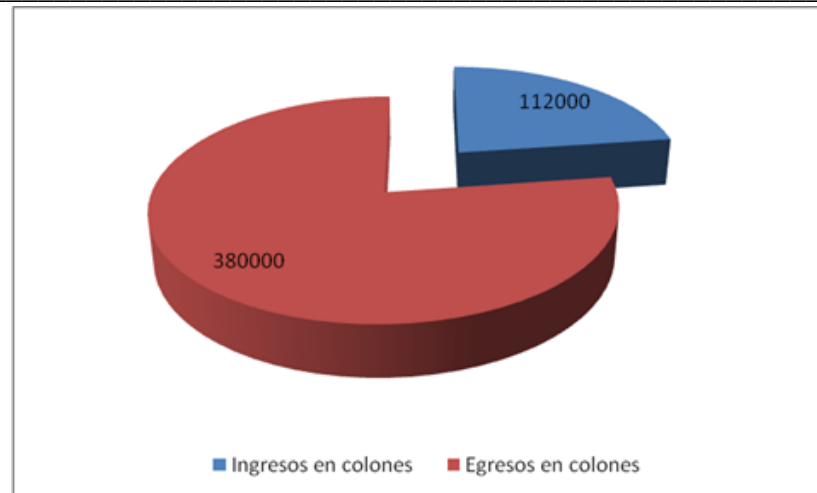


Figura 6: Ingresos y egresos reportados por los talleristas, asociados al manejo de los residuos de madera

En la Figura 6 se muestra el resumen de las respuestas a las preguntas realizadas a los talleristas sobre ingresos que hayan obtenido o erogaciones que hayan hecho en los últimos seis meses por los materiales de desecho que se generan en sus lugares de trabajo. De un total de ¢ 492.000 que se han movilizado en este periodo, el 23% concernió a ingresos recibidos por los talleristas y en todos los casos corresponde a personas que han llegado a los talleres a ofrecer comprar los desechos y no a estrategias o políticas de los talleres por colocarlos. Un 77% del dinero intercambiado fue por erogaciones que tuvieron que hacer los talleristas para que alguna persona se llevara los desechos generados. Este monto no incluye lo que corresponde al pago de recolección de desechos del servicio municipal.

Se quiso conocer si efectivamente el servicio municipal tenía una utilización tan reducida como la que indicaron los talleristas, para lo cual dos personas del equipo de este proyecto acompañaron durante un día a los funcionarios municipales dedicados a la recolección de desechos sólidos. Los días miércoles el servicio municipal acepta que los talleres puedan entregar los desechos y se realiza un recorrido por cuatro de los cinco distritos del cantón (no se incluye Toro Amarillo) mediante dos camiones que realizan la recolección. No se trata de una recolección exclusiva para desechos industriales, sino una ampliación del servicio de recolección domiciliar regular. La elección del día fue coordinada directamente con la encargada del servicio el día anterior del recorrido. Entre los dos camiones se recogió una cantidad estimada en 1 m<sup>3</sup> de desechos, principalmente compuesta por cabos de madera. Los trabajadores municipales indicaron que este resultado es bastante típico y que los talleres no utilizan regularmente la recolección de desechos municipal como la principal forma para deshacerse de los mismos.

## 5.2 *Discusión*

Los talleres en la comunidad de Sarchí dedicados a la fabricación de muebles de madera o artesanías son micro o pequeñas empresas, por lo cual dentro de su estructura interna no pueden encontrarse recursos humanos o administrativos dedicados específicamente a la gestión de desechos sólidos. Esto hace suponer que las acciones que puedan generarse en el tema de utilización de residuos de madera no pueden considerar estructuras internas o recursos de apoyo dentro de cada taller y sugieren que la(s) alternativa(s) que se ofrezca(n) debe(n) contemplar la acción coordinada de varias empresas.

Las dos organizaciones que han sido contraparte en este estudio (COOPEARSA R.L. y ASOARTE) no agrupan la totalidad de los talleres; sin embargo, algunas características de la comunidad (extensión geográfica, tradición en el trabajo con madera, forma en que se crean los talleres y aspectos culturales) hacen pensar que existe cierta homogeneidad entre las empresas del cantón, así como la existencia de vínculos no formales que mantienen una “red social” entre los talleres mediante contactos e intercambios de conocimientos, materiales, personas trabajadoras, tecnología, etc.

La existencia de la “red social” mencionada en el párrafo anterior y la distribución geográfica de los talleres hacen pensar que los procesos logísticos de recolección de desechos para los talleres pueden concentrarse en los distritos de Sarchí Norte y Sarchí Sur, que representan el 18% del área geográfica del Cantón. Estos distritos concentraron el 96% de las empresas incluidas en la muestra, lo cual hace suponer una fuerte tendencia de concentración de estos negocios en ellos.

Los materiales que componen el 62% de la cantidad total utilizada (Plywood, Melina y Aglomerados) generalmente se presentan comercialmente en láminas de dimensiones estandarizadas, lo cual facilita una mayor utilización de los mismos y con ello una menor generación de residuos que otros recibidos en otras formas (tablas, tucas, entre otros).

La composición de los residuos es una mezcla heterogénea, donde las especies y materiales más consumidos (al ser probablemente usados más intensivamente) disminuyen su participación porcentual en la mezcla, así como aquellas maderas que por su escasez son de alto costo son también utilizadas intensivamente o los desechos son recuperados para su uso en artesanías. Esto hace suponer que dentro de la mezcla, la participación porcentual de residuos de maderas de Guanacaste, Cenízaro y Laurel tenga una mayor participación porcentual.

La madera utilizada en los talleres ha sido sometida a procesos de secado. En el caso de los materiales que se presentan en láminas el secado ha sido realizado en hornos probablemente con condiciones controladas. Otros tipos de madera pueden también ser secados en hornos; sin embargo en la mayor cantidad de los talleres la madera es secada utilizando el calor del sol, para lo cual se coloca en tarimas cuya formación y tamaño puede diferir dependiendo del propietario del taller, la forma de la madera y las condiciones de espacio físico disponibles. Lo anterior permite considerar que los desechos generados corresponden también a maderas sometidas a algún proceso de secado. No fue posible determinar los niveles de humedad de las materias primas ni de los residuos pero los talleristas indicaron que las maderas utilizadas poseen niveles de humedad inferiores al 16%.

Dado que la producción en los talleres es en baja escala y la estandarización de los procesos es pobre, las formas y tamaños de los desechos pueden variar mucho, aumentando la heterogeneidad de la mezcla no sólo en lo relacionado con el material/especie, sino también en su morfología. Este aspecto debe considerarse en la valoración de alternativas, ya que imposibilita el uso extensivo de los residuos sin que se requiera alguna transformación física.

### 5.3 Alternativas valoradas:

Se valoraron diferentes alternativas para el uso de los residuos de madera desde la perspectiva de las necesidades de los artesanos, la cantidad de artesanos beneficiados, la factibilidad técnica y la financiera de cada producto.

Se encontró en la revisión de bibliografía una gran cantidad de productos comerciales, entre los que se pueden mencionar:

- *Cama y relleno para desecho de animales*: se utilizan para los animales confinados a establos, corrales o jaulas.
- *Combustible para Caldera*: Los residuos de madera pueden ser procesados y utilizados como combustible en calderas comerciales, industriales o los hornos para la producción de energía térmica y / o eléctricos.
- *Chunkrete*: es un término genérico para describir concreto producido con residuos de madera y / o cenizas volantes como agregado total o parcial. El uso de madera como agregado de hormigón reduce su densidad y aumenta sus propiedades de absorción y aislamiento del ruido.
- *Compost*: se agrega para proporcionar una fuente de carbono, aumenta la porosidad y los sólidos en el contenido de la mezcla.
- *Control de la Erosión*: Control de la erosión se refiere a la colocación de materiales para prevenir o impedir el desplazamiento de tierra, arena y otros materiales de cubierta vegetal debido a los efectos del viento, precipitación o el agua.
- *Etanol*: El etanol es un biocombustible producido por o derivado de materiales de la biomasa.
- *Conglomerado / Fibra de madera*: Tableros duros y tableros de fibras están compuestos de madera producida por la separación de lignina en las virutas de madera, y prensando en caliente la mezcla de fibras con resinas adhesivas en los paneles.
- *Cubierta para Vertedero*: Algunos rellenos sanitarios utilizan un sistema de células para disponer los residuos sólidos. Cada célula se cubre con partículas de desechos de madera, como los chips o astillas, lo que facilita la compactación y mejora la degradación de la basura.
- *Cubierta para jardines*: se utiliza como material de cobertura del suelo para controlar las malezas, prevenir la pérdida de humedad en el suelo, y con fines estéticos.
- *Metanol / syngas*: Syngas (gas de síntesis) es un combustible que puede ser producido o derivado de la biomasa los materiales.
- *Relleno de Embalaje*: se utiliza para proteger los artículos durante el envío o transporte. Los residuos de madera que se pueden utilizar como relleno incluyen aserrín y virutas
- *Zona de juegos / Cobertura del suelo para Acceso de Minusválidos*: se utiliza en parques u otras áreas que son accesibles a las personas con discapacidad, incluidos las de sillas de ruedas.
- *Tierra para macetas*: la mezcla de tierra y residuos de madera proporciona nutrientes al suelo para una óptima nutrición de las plantas, un mejor crecimiento radicular y mayor retención de agua.
- *Pulpa y Papel*: La industria de la celulosa y el papel utiliza la madera para producir pasta de papel y en última instancia productos de papel.
- *Compuestos de madera-plástico*: compuestos de madera-plástico son combinaciones de plástico con fibra de madera.
- *Pellets de madera*: Bolitas de madera hechas de pequeñas partículas de residuos de madera, ya sea polvo de la lijadora, aserrín, virutas, "astillas" y trozos, que se secan, se muelen y se comprimen hasta formar pelotillas. Otros materiales como el polietileno se pueden agregar para ayudar al proceso de extrusión, aumentar el valor de la energía, y proteger las pastillas de absorber humedad. Los pellets se pueden utilizar como combustible en los residenciales, calderas institucional, municipal, comercial, industrial o de servicios públicos o los hornos para la producción de energía térmica y / o eléctricos. También se utilizan como absorbentes.

- *Horno de secado con Gasificador:* se utiliza para secar la madera previo al proceso de manufactura. Se definieron aquellos procesos que se ajustaban al perfil de la actividad de los artesanos y a los recursos disponibles, y se eligieron el horno de secado con gasificador y los pellets de madera.

Los pellets de madera son partículas de madera que han sido comprimidas y que pueden ser utilizados como combustible. Generalmente son quemados para generar calor, aunque también pueden ser usados para producir vapor y/o electricidad de forma comercial o residencial.

La materia prima para la producción de pellets son los residuos de madera provenientes de procesos de transformación como fabricación de muebles y artesanías.

Inicialmente debe secarse el material de modo que el porcentaje de humedad no supere el 4%, debido a que las altas temperaturas y presiones que requiere el proceso podrían provocar problemas, incluyendo la poca consolidación del pellet y el bajo rendimiento del producto.

Una vez secos, los residuos de madera deben ser homogenizados en tamaño para mantener uniforme la densidad del producto. Para la extrusión, se requieren presiones cercanas a los 45.000psi y temperaturas alrededor de 200°F, de modo que la lignina sea liberada y sirva para aglomerar la madera. No es necesario adicionar otros adhesivos, sin embargo algunas marcas usan pequeñas cantidades de lubricantes para facilitar el proceso.

Las máquinas pelletizadoras disponibles comercialmente pueden costar cerca de \$50.000, a lo que hay que adicionar el costo de un secador, un molino (para triturar la madera a un tamaño uniforme) y las máquinas para empaque del producto. Aunque la producción puede ser alta (5-10 toneladas por hora), la inversión inicial en instalaciones y equipo para este tipo de proceso aunado al consumo eléctrico resulta demasiado alto.



## 6. Alternativa de Solución: Horno Secador con Gasificador

### 6.1 Fundamento Teórico de la Gasificación

La perspectiva teórica en la que se basa la propuesta está sustentada en la publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: “El gas de madera como combustible para motores”.

El acceso a fuentes de energía confiables y accesibles es de gran importancia para el incremento de la productividad en los países en desarrollo; un ejemplo de estas acciones puede ser el aprovechamiento de residuos que generan algunos procesos de fabricación, como es la industria de la madera. Entre los principios utilizados para un mejor uso de este tipo de fuentes puede mencionarse la tecnología del gas pobre que se remonta a la Segunda Guerra Mundial como sustituto de los derivados del petróleo para la movilización de los vehículos de combustión interna, aunque también se ha utilizado en procesos en los cuales se requiere calor.

La gasificación del carbón y de la biomasa puede considerarse una técnica centenaria; la generación de gas pobre a partir de madera y carbón ha demostrado ser segura y poco costosa, en comparación con el uso de gasolina y diesel; sin embargo, ha tenido aceptación solamente en casos de emergencia y guerras. Gasificación es el proceso de transformación termoquímica de cualquier materia sólida de origen orgánico en gas. El gas es producido por la combustión parcial del combustible sólido a través de la reacción de éste con aire u oxígeno inyectado en un compartimiento adecuado de un reactor (gasificador). En este proceso, la mayor parte de la energía química del combustible sólido se transfiere al combustible gaseoso.

Un gasificador se compone de un recipiente preparado para recibir el combustible sólido, de un compartimiento adecuado para quemar parcialmente al referido combustible, de medios de carga de combustible sólido y eliminación de cenizas, de elementos de reducción para el gas, tubería para permitir la entrada de aire u oxígeno, así como vapor de agua para el proceso y tubería de salida para el gas producido.

#### 6.1.1 PLANTA DE GAS POBRE

Una planta para producir gas pobre fundamentalmente consta de cuatro partes fundamentales que se muestran a continuación:

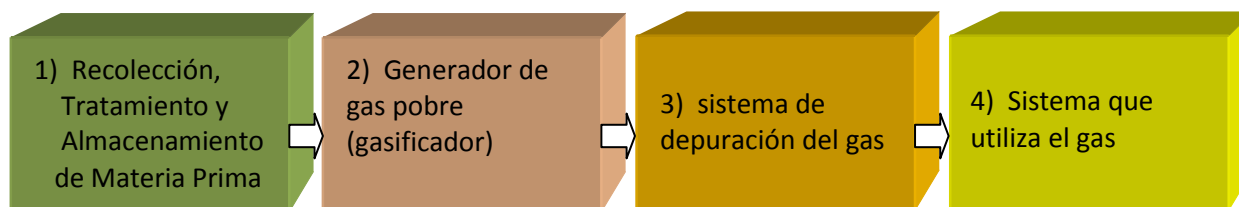


Figura 7: Diagrama de una planta para la utilización de gas pobre

La recolección, tratamiento y almacenamiento varía según sea la materia prima; por ejemplo, si es madera (desechos) que proviene de un proceso productivo por lo general su humedad es muy baja, por lo que la madera no hay que tratarla para bajarle la humedad, pero si es de desechos que provienen del bosque y tienen un alto grado de humedad habrá que tratarla previamente para bajarle la humedad. Posteriormente, siguiendo el ejemplo, hay que cortarla en un tamaño adecuado para lograr las características físicas y químicas deseadas para el gasificador y almacenarla.

La selección del gasificador más adecuado normalmente depende del tipo de materia prima (combustible) de que se dispone.

El sistema de depuración es opcional, según sea el uso que se le dará al gas pobre; por ejemplo, si el gas se utilizará para mover un motor de combustión interna, se requiere remover del gas, polvo y alquitranes además de bajarle la temperatura. Si el gas se quema para producir llama y usarla como fuente de calor en una caldera no es necesario que haya un sistema de depuración del gas.

El gas pobre se puede utilizar de varias formas, de las cuales las más frecuentes son: combustible para hacer mover una máquina de combustión interna (puede mover un automóvil o un generador eléctrico); combustible en el quemador de una caldera; fluido caliente usado en intercambiadores de calor para calentar otros fluidos como el aire, agua, etc.

## ***6.2 Tipos de Materias Primas para Gasificación***

En cuanto al combustible sólido, las principales materias primas utilizadas en gasificadores son las siguientes:

- Carbón mineral
- Biomasa
- Leña
- Carbón vegetal
- Residuos forestales y madereros
- Residuos agrícolas (bagazo, granza de arroz, broza de café, etc) diversos.
- Turba
- Basura
- Caucho

Para gasificadores de tamaño pequeño y mediano, la leña y el carbón son las principales materias primas. En éstos, el aire es inyectado en la zona de reacción, generando un gas con bajo poder calorífico. El empleo del aire en lugar de oxígeno presenta algunas ventajas:

- ❖ Reduce la temperatura de reacción, permitiendo el empleo de materiales más baratos en la construcción del gasificador.
- ❖ Facilita el proceso de control, ya que el nitrógeno cuando no reacciona con el oxígeno (exceptuando en parte ínfima para producir  $\text{NO}_x$ ), actúa como un diluyente para reducir la sensibilidad de la temperatura de reacción con la variable de gas.

La influencia de la materia prima en la composición de los gases generadores en un gasificador está relacionada con otros factores y, en general, no es una variable independiente. De esta manera, la selección de un determinado combustible implica la selección de una clase de gasificador.

Para gasificadores de pequeño y mediano tamaño usando normalmente aire como comburente, se obtienen valores típicos de la composición del gas producido en función de la materia prima empleada, según muestra la Tabla 6. Se debe observar que el contenido de compuestos orgánicos volátiles es característico de cada materia prima y que elevados contenidos de éstos, exigen mejores sistemas de limpieza de los gases.

Tabla 6: Valores típicos de composición del gas producido en gasificadores, según materia prima empleada

Comp/Combust	Coque	Antracita	Carbón lignito	Carbón vegetal	Madera
<b>SÓLIDOS</b>					
Humedad (%)	7,5	4,9	32,5	6,0	36,0
Cenizas (%)	9,4	11,3	6,5	2,5	0,8
Índice MV (*)	0,6	6,6	47,5	15,0	80
PCS (kcal/kg)	6700	7250	4350	7200	3000
<b>GASES (%)</b>					
CO <sub>2</sub>	6,6	6,0	3,9	8,9	6,6
O <sub>2</sub>	0,1	0,1	0,3	-	0,2
CO	25,5	25,5	27,3	24,3	29,0
H <sub>2</sub>	10,7	17,0	15,0	15,2	13,0
CH <sub>4</sub>	-	0,9	2,8	2,3	4,2
N <sub>2</sub>	57,0	50,5	50,4	49,3	47,0
PCS (kcal/Nm <sup>3</sup> )	1100	1380	1560	1455	1680
Calculado					

(\*) Materiales Volátiles sobre combustible puro en %. Fuente: Assumpção, 1981

### 6.2.1. Humedad del combustible

La humedad del combustible es un factor muy importante en gasificadores de flujo concurrente, principalmente cuando se usa madera. El PCI del gas producido es altamente influenciado por la humedad de la madera, y de no existir suministro externo de calor esta clase de gasificador no puede operar eficientemente con humedades superiores a 30%. La temperatura de la reacción disminuye con el aumento de la humedad de la madera, dificultando el “cracking” del alquitrán y de los piroleñosos producidos en la zona de pirolisis, además de provocar inestabilidad en la zona de combustión.

## 6.3. Tipos de Gasificadores

### 6.3.1. Gasificador de tiro ascendente o contracorriente

Es el tipo más antiguo y sencillo; la toma de aire está situada al fondo y el gas sale por la parte superior (Figura 8). La reacción de combustión se efectúa cerca de la parrilla, seguida por la reacción de reducción un poco más arriba en el Gasificador. La calefacción del gas y el proceso de pirolización se realizan en la parte superior, como resultado de la transferencia de calor por convección forzada del combustible y por la radiación de las zonas inferiores. Los alquitranes y otros volátiles resultantes de este proceso se arrastran en el flujo del gas, las cenizas se depositan en el fondo del equipo.

La mayor ventaja de este tipo de gasificador es su sencillez; la combustión completa del carbón y el intercambio interno de calor llevan como resultado gas pobre a baja temperatura y alta eficiencia del equipo, así como también la posibilidad de operar con una variedad de combustibles sin preparación previa (aserrín, cáscaras de cereales, etc).

La mayor desventaja es la posibilidad de canalización térmica (regiones de temperatura baja que trascienden la torre) lo cual puede dar como resultado situaciones peligrosas y hasta explosivas ante la presencia de suficiente oxígeno: esto crea la necesidad de instalar parrillas que se desplacen automáticamente. La canalización trae consigo el inconveniente de tener que eliminar los productos de condensación alquitranados que resultan del proceso de limpieza del gas. El problema de la eliminación de residuos alquitranados es de menor importancia cuando el gas va a ser usado en combustión directa, en cuyo caso los alquitranes se consumen en la combustión.

La granulometría del combustible sólido debe estar entre 20 y 100 mm, pudiendo llegar hasta 150 mm en la mayor dimensión

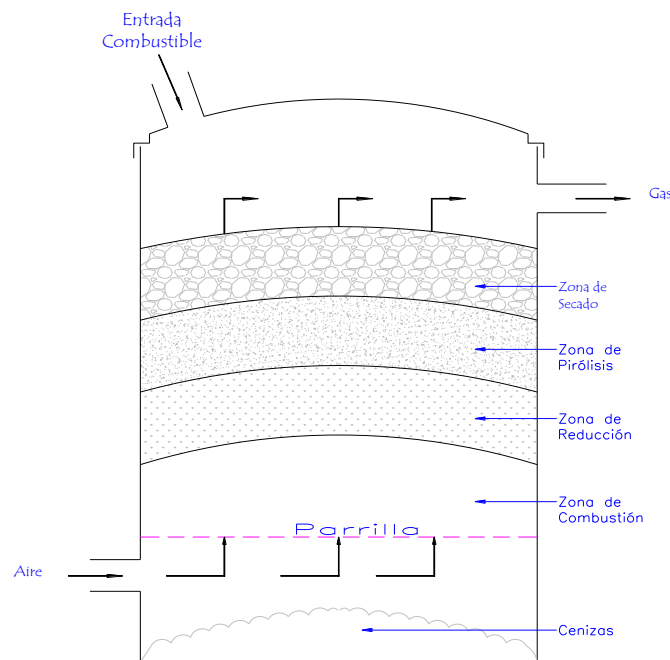


Figura 8: Esquema de Gasificador de flujo contracorriente

### 6.3.2. Gasificador concurrente

El gas fluye en el mismo sentido descendente que el combustible sólido. El gas pobre se colecta al fondo del gasificador, de tal manera que el combustible y el gas se muevan en la misma dirección. En su descenso, los productos alquitranosos y ácidos de destilación provenientes del combustible pasan necesariamente por sobre una cama ardiente de carbón y por lo tanto se convierten en gases permanentes tales como hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano, así también como coque. Dependiendo de la

temperatura de la zona ardiente y del tiempo de permanencia de los vapores alquitranados en dicha zona, se logra una mayor o menor descomposición de los mismos.

En los gasificadores concurrentes, la materia prima con alto contenido de humedad, requiere previo secado de la misma y/o calentamiento del aire de gasificación para superar tales dificultades.

Para garantizar que todos los vapores pasen por la zona caliente (de reacción), esos aparatos presentan una estrangulación situada entre la zona de combustión y la de reducción. Esta estrangulación presenta un diámetro máximo de 300 mm, para garantizar la combustión del alquitrán y ácidos presentes y que limita la capacidad de esos gasificadores en aproximadamente 500 000 Kcal/h.

El alquitrán y los ácidos arrastrados por los gases generados son forzados a cruzar la zona de reducción en donde la temperatura predominante (650 °C) descompone los ácidos y gran parte del alquitrán.

El gas generado sale del reactor con la temperatura entre 400 y 500 °C, después de cambiar indirectamente calor con la zona de secado del gasificador, presentando reducida cantidad de alquitrán y, básicamente, sin otras fracciones orgánicas.

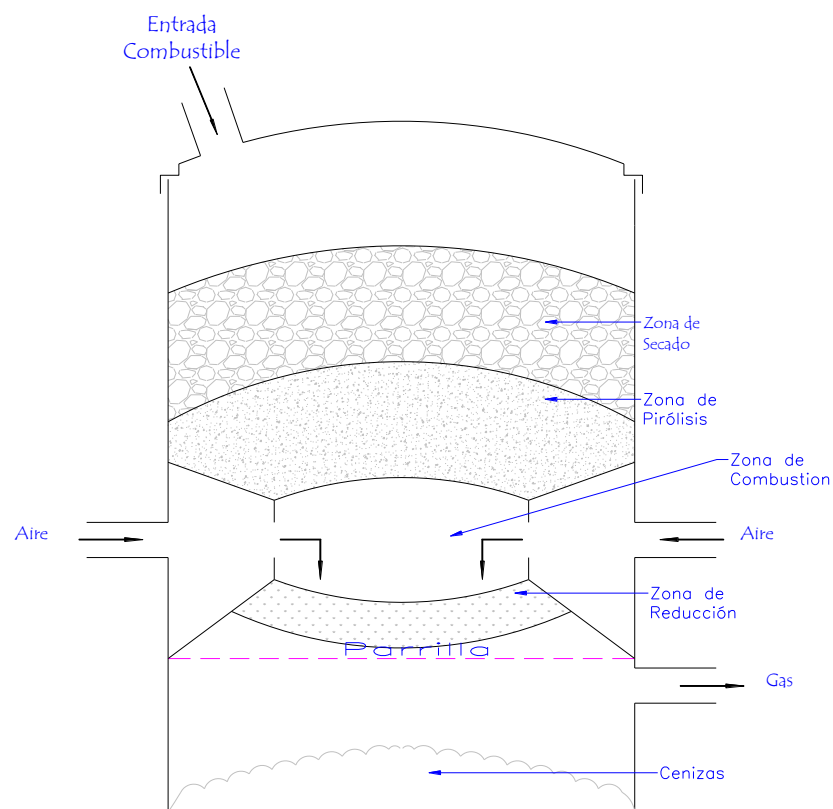


Figura 9: Gasificador de flujo descendente o de contracorriente

La operación con leña es más exigente en cuanto a la uniformidad de la materia prima, aceptando trozos de hasta 100mm y nunca superior a 150 mm. Algunos gasificadores concurrentes solamente operan con leña con granulometría entre 15 y 50 mm.

En el gasificador de tiro descendente se pueden distinguir las zonas siguientes:

Zona de secado: el combustible sólido se introduce por la parte superior del equipo. No es necesario utilizar un sistema sofisticado de alimentación porque a esta altura se puede tolerar escapes de aire. Debido a la transferencia cálida de calor en la sección, la madera o biomasa se seca.

Zona de pirolisis: la biomasa combustible comienza a pirolizarse a temperaturas sobre los 250 °C. Durante el recalentamiento del combustible, las moléculas grandes tales como la celulosa, semicelulosa y lignina se desintegran en moléculas de tamaño mediano y el carbón. Si estas moléculas permanecen suficiente tiempo en la zona caliente, se vuelven a desagregar en moléculas aún más pequeñas como: hidrógeno, metano, monóxido de carbono, etano, etileno, dióxido de carbono, etc.

Zona de combustión (oxidación): es la zona donde se introduce el aire (oxígeno). Las reacciones con oxígeno son altamente exotérmicas, como resultado sube violentamente la temperatura entre 1200 y 1500 °C. La función principal de la zona de oxidación, aparte de la de generar calor, es la de convertir y oxidar todos los productos condensables provenientes de la zona de pirólisis. A fin de evitar puntos fríos en la zona de oxidación, la velocidad de ingreso del aire y la geometría del reactor deben escogerse con cuidado.

Zona de reducción: el calor de los gases y del carbón se convierte en su mayoría en energía química del gas pobre. Los productos finales de las reacciones químicas que se efectúan en la zona de reducción forman un gas combustible que puede ser utilizado en quemadores y motores de combustión interna. La ceniza que se produce debe ser retirada ocasionalmente del gasificador.

La mayor ventaja del sistema de gasificadores de tiro descendente está en la producción de gases libres de alquitranes que se puede utilizar en motores de combustión interna.

Una desventaja grande de los equipos de tiro descendente es que no pueden operar con una serie de combustibles no procesados. El uso de combustibles esponjosos y de baja densidad produce flujos en la hornilla y crean problemas de diferenciales de presión. También sufren de alto contenido de cenizas que se acumulan como residuos e interfieren en el proceso. Además son menos eficientes que los gasificadores ascendentes.

### **6.3.3 Gasificador de flujo cruzado**

En este sistema el flujo de aire y de gas generalmente es transversal al movimiento del combustible sólido. Operan a temperaturas muy elevadas, alcanzando 2000 °C y limitan sus zonas de combustión/reducción por el empleo de un conductor de entrada de aire de pequeño diámetro para producir un canal normalmente enfriado por agua. En algunos gasificadores de flujo cruzado, se usan boquillas especialmente fundidas en cobre electrolítico o en aleaciones de cobre plata, por presentar elevados coeficientes de transmisión de calor.

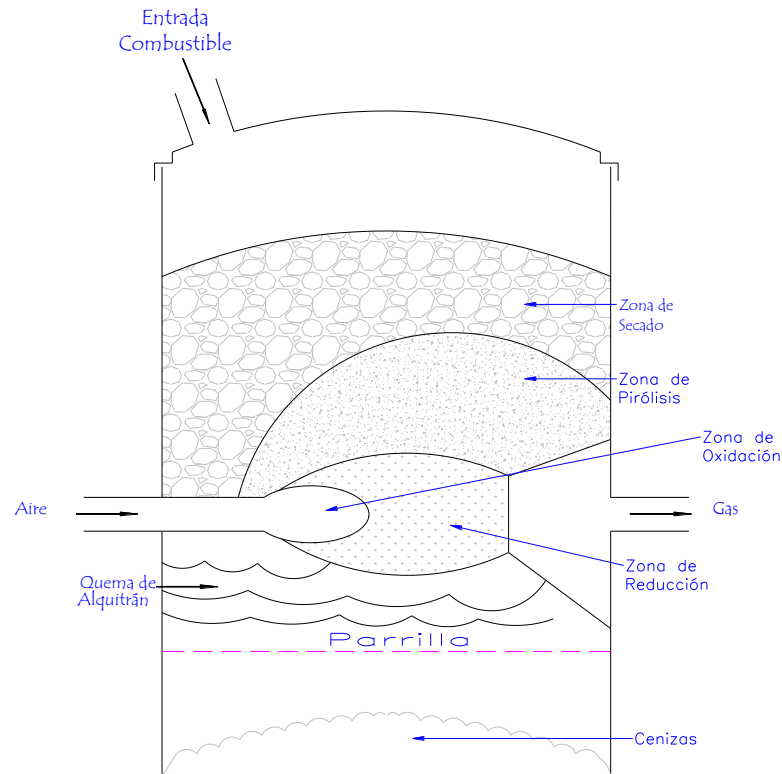


Figura 10: Gasificador de flujo cruzado

Este gasificador requiere combustible sólido de bajo contenido de alquitrán y de fina granulometría, a causa del poco tiempo de contacto entre el aire y el combustible. Se recomienda el uso de carbón vegetal con partículas entre 5 y 10 mm de diámetro promedio. Carbón vegetal con partículas superiores a 20 mm presentan reducción en la producción de gas. Cuando se usa el carbón vegetal como combustible, el reactor no requiere revestimiento con material refractario, ya que el propio carbón actúa como aislante de la radiación térmica.

#### 6.4 Reacciones Químicas en un gasificador

Cuatro procesos diferentes ocurren en el gasificador: secado del combustible, pirólisis, reducción y combustión. Aún cuando hay cruce de zonas puede considerarse que cada uno de estos procesos ocupa una zona separada en la que producen reacciones químicas y térmicas radicalmente diferentes.

La zona de combustión generalmente está situada cerca de la base del gasificador, llamada también zona de oxidación o de crisol y es la zona en la cual se alimenta el gasificador con aire permitiéndose la combustión como en un horno ordinario. La característica esencial es que se restringe el suministro de aire para que la combustión no se extienda a toda la masa de combustible. Si esto llega a ocurrir el gasificador se convertiría en un horno ordinario, produciendo calor y gases incombustibles.

La reacción química básica que se efectúa en la zona de combustión es la combinación del oxígeno del aire con el carbón del combustible para producir dióxido de carbono un gas incombustible. La temperatura en la zona de combustión normalmente llega a un punto entre 900 y 1 300 °C e inclusive según el tipo de gasificador puede llegar hasta 2 000°C.

De la zona de combustión, los gases calientes pasan luego a la zona de reducción, la cual está generalmente junto a la de combustión, pero dependiendo de la configuración del gasificador puede estar colocada encima, debajo o junto a ella. No se permite que entre aire en esta zona, por lo tanto no hay oxígeno libre y las reacciones que se desarrollan son diferentes. Estas reacciones son llamadas reacciones de reducción y juegan una función esencial en la gasificación ya que convierten algunos gases incombustibles que emergen de la zona de combustión en productos combustibles.

Otra reacción de reducción muy importante es aquella entre el vapor de agua y el carbón. Esta es también endotérmica y sólo se realiza a temperaturas sobre los 900 °C. El agua se disocia y los productos resultantes son monóxido de carbono y cierta cantidad de carbono y cierta cantidad de hidrógeno. Se la llama normalmente la reacción agua-gas, y ya que los dos productos de reacción son combustibles, incrementa el valor calórico del gas final.

En el curso de estas reacciones endotérmicas, el calor es absorbido del flujo de gas. La temperatura dentro de la zona de reducción decae paulatinamente. Conforme baja la temperatura, un conjunto distinto de reacciones ocurren en esta zona, entre ellas la generación de vapor de agua con carbono para producir hidrógeno y dióxido de carbono; esta reacción predomina en la zona entre los 500° C y 600°C. Si hay exceso de agua presente en la zona de reducción disminuye el poder calorífico del gas final. La mayor parte del hidrógeno que se produce en la zona de reducción permanece libre, una porción puede combinarse con carbono para formar pequeñas cantidades de metano.

A continuación se resumen las reacciones químicas más importantes que ocurren en la zona de combustión y reducción. Su secuencia precisa es muy compleja ya que depende del tipo de combustible, del diseño del gasificador y de las condiciones de operación.

<i>Reacción de combustión</i>	Cambio de entalpía
1. $C + O_2 = CO_2$	+ 3 938 000 kJ/kgmol
<i>Reacción de Boudouard</i>	
2. $C + CO_2 = 2CO$	- 172 600 kJ/kgmol
<i>Reacción gas - agua</i>	
3. $C + H_2O = CO + H_2$	- 131 400 kJ/kgmol
<i>Reacción de desplazamiento de agua</i>	
4. $C + 2H_2O = CO + 2H_2$	- 880 000 kJ/kgmol
5. $CO + H_2O = CO_2 + H_2$	+ 41 200 kJ/kgmol
<i>Reacción de metano</i>	
6. $C + 2H_2 = CH_4$	+ 75 000 kJ/kgmol

La zona de pirolisis generalmente está sobre las zonas de combustión y reducción, esta zona extrae calor de las zonas más calientes adyacentes y no tiene aire. Una vez que la temperatura llega aproximadamente a 400°C una reacción exotérmica se inicia, en la cual las estructuras naturales de la madera o de otros productos orgánicos que se utilizan como materia prima comienzan a disociarse produciendo vapor de agua, metanol, ácido acético y considerables volúmenes de hidrocarburos pesados (breas). El restante sólido después de la pirolisis, es carbón vegetal.



## 6.5 Reglas para el diseño de gasificadores de tiro descendente

En la operación de un gasificador, los cambios en la calidad y dimensiones del combustible pueden influir en la operación correcta, a tal punto que sólo con la experiencia de trabajo se logra controlar las variables y no en el diseño original.

En esta sección se pretende ofrecer una guía para dimensionar un gasificador de tiro descendente, que está basada en consideraciones teóricas y también en la evaluación de pruebas realizadas durante el presente proyecto de investigación.

## 6.6 Rendimiento del gas

El producto de una combustión incompleta de la materia orgánica que se usa como combustible es una mezcla gaseosa de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, metano, otros hidrocarburos y vapor de agua.

Los resultados estequiométricos siguientes servirán, de manera muy simplificada, para la evaluación del rendimiento de gas cuando se gasifica madera.

Asumiendo los siguientes valores para un kilogramo de madera:

0,50 kg de carbono (peso atómico 12)	0,06 kg de hidrógeno (peso atómico 1)	0,44 de oxígeno (peso atómico 16)
---	--	--------------------------------------

La combustión completa significaría que el carbono reaccionaría completamente con suficiente oxígeno para formar dióxido de carbono y el hidrógeno reaccionaría con el oxígeno para formar agua:

$$\frac{0,5 \text{ kg}_C * 2 * 16 \frac{\text{kg}_O}{\text{kmol}}}{12 \frac{\text{kg}_C}{\text{kmol}}} = 1,33 \text{ kg de oxígeno para formar } CO_2$$

$$\frac{0,06 \text{ kg}_H * 16 \frac{\text{kg}_O}{\text{kmol}}}{2 * 1 \frac{\text{kg}_H}{\text{kmol}}} = 0,48 \text{ kg de oxígeno para formar } H_2O$$

En total se necesita 1,81 kg de Oxígeno

Como en la estructura de la madera sólo hay disponible 0,44 kg de oxígeno, la combustión completa sólo puede ocurrir si 1,37 kg de oxígeno adicional son introducidos por la toma de aire.

Dado que realmente no se desea una combustión completa, la cantidad adicional de oxígeno debe ajustarse cuidadosamente. En la zona de oxidación (zona de combustión) las reacciones del carbón al rojo con el oxígeno forman  $CO_2$  (como fuente de calor para las reacciones endotérmicas de la zona de reducción) y también  $CO$ . Cuando la temperatura es más alta, domina el  $CO$  como resultado de la reacción de Boudouard.

Si se supone un equilibrio donde el 70% del carbón se oxida a  $CO$  y un 30% a  $CO_2$ , se puede estimar la cantidad necesaria de oxígeno (por kg de madera).

$$\begin{aligned} \text{Para formar CO:} & \quad \frac{0,5 \times 0,7 \times 32}{12} = 0,47 \text{ kg de oxígeno} \\ \text{Para formar CO}_2: & \quad \frac{0,5 \times 0,3 \times 32}{12} = 0,40 \text{ kg de oxígeno} \\ \text{Cantidad de oxígeno necesario} & \quad \quad \quad 0,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

Como 0,44 Kg de oxígeno ya están presentes en la madera, deben ser absorbidos 0,87Kg de oxígeno del aire. Un kilogramo de aire contiene 0,77 kg de nitrógeno y 0,23 kg de oxígeno (asumiendo que 1 m<sup>3</sup> de aire contiene 0,70 m<sup>3</sup> de N<sub>2</sub> y 0,21 m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub>)

La masa de aire que corresponde a 0,47 kg de oxígeno es 2,04 Kg.

$$0,47 \text{ kg}_{\text{O}_2} + \frac{0,47 \text{ kg}_{\text{O}_2} \times 0,77}{0,23} = 2,04 \text{ kg de aire}$$

Dado que el aire tiene un peso específico de 1,29 kg/Nm<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup> metro cúbico normal a 0°C y 760 mmHg) estos 2,04 kg de aire corresponden a 1,58 Nm<sup>3</sup> de aire.

El peso de la mezcla producida por la combustión parcial de 1 kg de madera es de:

<i>Contenido CO</i>	$0,5 \text{ kg}_C \times 0,7 + 0,47 \text{ kg}_O = 0,82 \text{ kg}$
<i>Contenido CO<sub>2</sub></i>	$0,5 \text{ kg}_C \times 0,3 + 0,40 \text{ kg}_{\text{O}_2} = 0,55 \text{ kg}$
<i>Nitrógeno</i>	$= 1,57 \text{ kg}$
<i>Hidrógeno</i>	$= 0,06 \text{ kg}$
<b>Total</b>	<b>3,00 kg</b>

Con un peso específico de 1,3 kg/Nm<sup>3</sup>, esto corresponde a 2,31 Nm<sup>3</sup> de gas. Por lo tanto en resumen se tiene: 1 kg de madera seca rinde 2,31 Nm<sup>3</sup> de gas, el aire requerido para la gasificación es de 1,5 Nm<sup>3</sup> (aire seco).

Los datos obtenidos anteriormente están sumamente simplificados, se ha ignorado el contenido de agua de la madera así como la humedad del aire y además se ignoró la formación de otros compuestos.

Para este diseño se consideró un único escenario donde la madera contiene 15 % de humedad (dado que la materia prima ya ha sido previamente tratada y secada para la fabricación de muebles y artesanías). La literatura establece una producción de 2,4 Nm<sup>3</sup> de gas con un poder calorífico que oscila entre 4 000 y 5 000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Nótese que según la tabla 7, para madera seca se producen 2,4 Nm<sup>3</sup> con un poder calorífico de 5500 kJ/Nm<sup>3</sup>, mientras que con madera húmeda (15%) se producen 2,58 Nm<sup>3</sup> de gas pobre pero su poder calorífico es menor (entre 4000 y 5000 kJ/Nm<sup>3</sup>).

Para producir este volumen de gas, deben ser absorbidos por el gasificador 1,2 Nm<sup>3</sup> de aire y la velocidad de ingreso debe de ser de unos 28 m/s. Bajo estas condiciones, el poder calorífico del gas "PCg" está entre 4000 y 5000 kJ/Nm<sup>3</sup>.

## 7. Diseño del Gasificador

### 7.1 Cálculos para el dimensionamiento y funcionamiento del secador híbrido:

Con base en la información anterior, a continuación se resumen los parámetros para el cálculo de las dimensiones críticas de un gasificador de tiro descendente, los cuales se muestran en la siguiente figura.

Donde:

$d_t$ : diámetro de garganta (diámetro de cuello)

$d_a$ : diámetro a la entrada del aire

$d$ : diámetro del tanque de almacenamiento de combustible

$h_a$ : altura entre la entrada de aire y la garganta

$h_r$ : altura entre la entrada de aire y la parrilla (zona de reducción)

$d_g$ : diámetro de salida de los gases

$H$ : altura del tanque de combustible

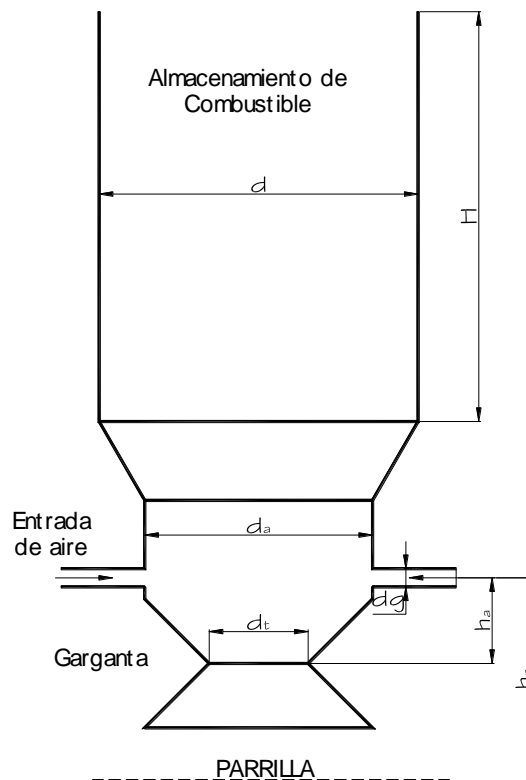


Figura 11: Diagrama de diseño de gasificador

### 7.1.1 Capacidad Relativa (CR)

Las reacciones, en las diferentes fases de la gasificación tienen velocidades limitadas específicas y requieren un tiempo de permanencia específico para que las condiciones de operación sean óptimas. Los tiempos de permanencia dependen del flujo del material a través de la sección transversal del gasificador. Los diversos tipos de gasificadores de tiro ascendente requieren diferentes soluciones para llegar al tiempo de permanencia óptimo en las zonas de pirolisis, oxidación y reducción. El flujo relativo ((kg/m<sup>2</sup>x h) para sólidos, o (m/s) para el gas, calculados a 0°C) se da como valor crítico para el diseño a carga máxima a través de la sección transversal más angosta (la garganta, también llamada cuello). Los valores promedio de esta capacidad relativa son:

Diseño	Capacidad Relativa "CR" en kg/m <sup>2</sup> h
Diseño sin cuello	250-300
Diseño cuello simple	1 200
Diseño doble cuello	4 200 en el segundo cuello

De estos datos se puede determinar el diámetro del cuello del tubo de un gasificador si se conoce el consumo necesario para un proceso específico.

$$dt = 2\sqrt{\frac{CM}{\pi CR}}$$

Donde:

CM: consumo de madera por hora (kg/h)

CR: capacidad relativa en kg/m<sup>2</sup>h, según el diseño del gasificador

### 7.1.2 Determinación de las dimensiones

Si el diámetro de garganta es dado (dt), las dimensiones de **ha** y **da** se pueden determinar de las Figuras 12 y 13 que se muestran a continuación. Con la velocidad en la entrada de aire ( $V_A$ ) en la Figura 14 y la demanda de aire ( $\dot{V}_A$ ), el diámetro interno **di** de las toberas queda entonces definido de la siguiente manera:

$$da = 2\sqrt{\frac{\dot{V}_A}{\pi n V_A}}$$

Donde:

da: diámetro interno de la tubería de entrada de aire, en m

$\dot{V}_A$ : Flujo volumétrico necesario de aire en Nm<sup>3</sup>/s

$V_A$ : Velocidad del aire de entrada a la zona de oxidación, en m/s

n: Número de entradas de aire en la zona de oxidación

La altura entre la zona de oxidación (entrada del aire) y la zona de reducción (la parrilla), **hr**, se deriva de la Figura 15. Una capacidad de 250-300 kg/m<sup>3</sup>h es suficiente para la zona de secado. La inclinación de las paredes del cono entre el tubo y el cuello debería ser entre 45° >α <60° (Figura 11).

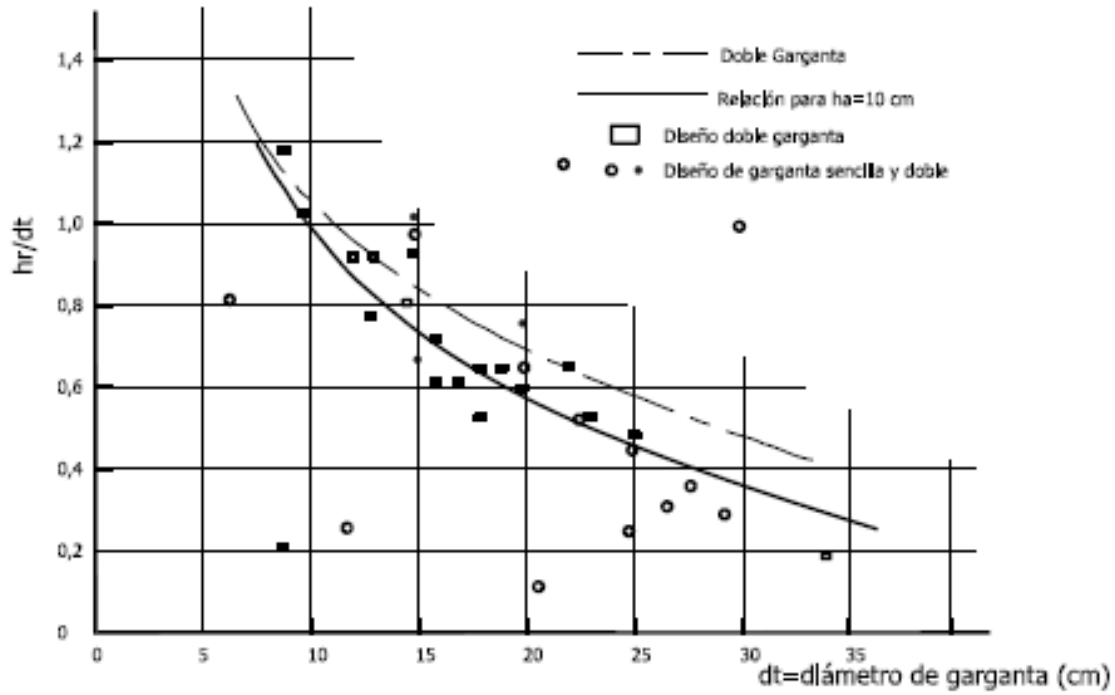


Figura 12: Relación de la distancia relativa de aire a garganta y el diámetro de la garganta vs capacidad

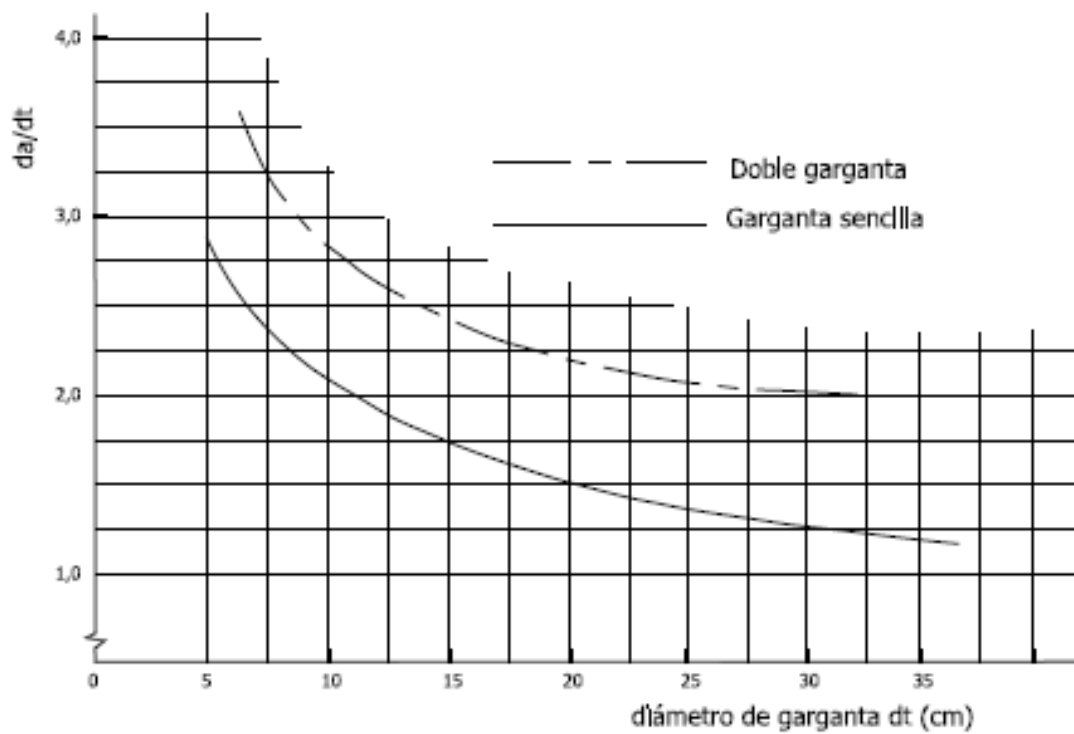


Figura 13: Relación entre diámetro de entrada de aire y el diámetro de garganta

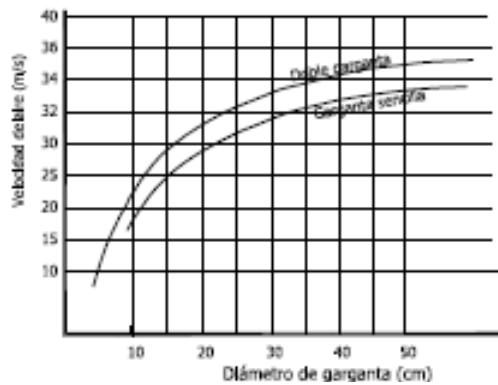


Figura 14: Velocidad de entrada del aire vs capacidad

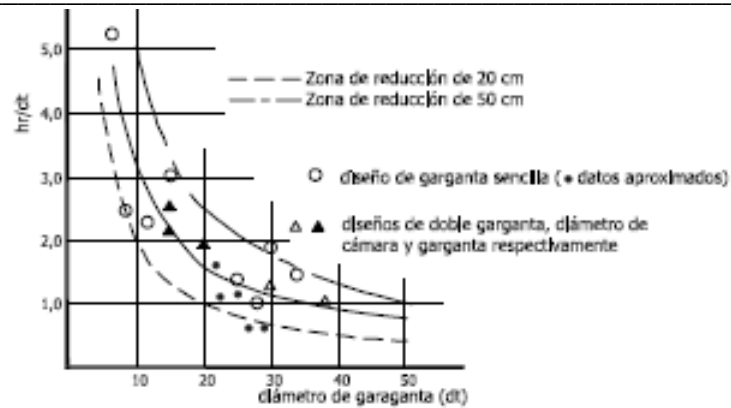


Figura 15: hr/dt versus diámetro de garganta

Después de analizar los datos presentados anteriormente, se elaboró un diseño para el secado de madera a partir de residuos que considera tres elementos: una cámara de secado, un intercambiador de calor y un gasificador. Se utilizó como base para la cámara de secado el modelo solar propuesto por la Ing. Cynthia Salas, desarrollado en un proyecto de investigación en el ITCR (Salas et al, 2008) y se adaptó para que funcionara de forma mixta tomando beneficio del poder calórico contenido en los residuos de madera.

En el nuevo modelo, el gas pobre pasa por un intercambiador de calor que sube la temperatura del aire interno de secador de madera y absorbe humedad de la madera. En la figura 16, se muestra el proceso propuesto.

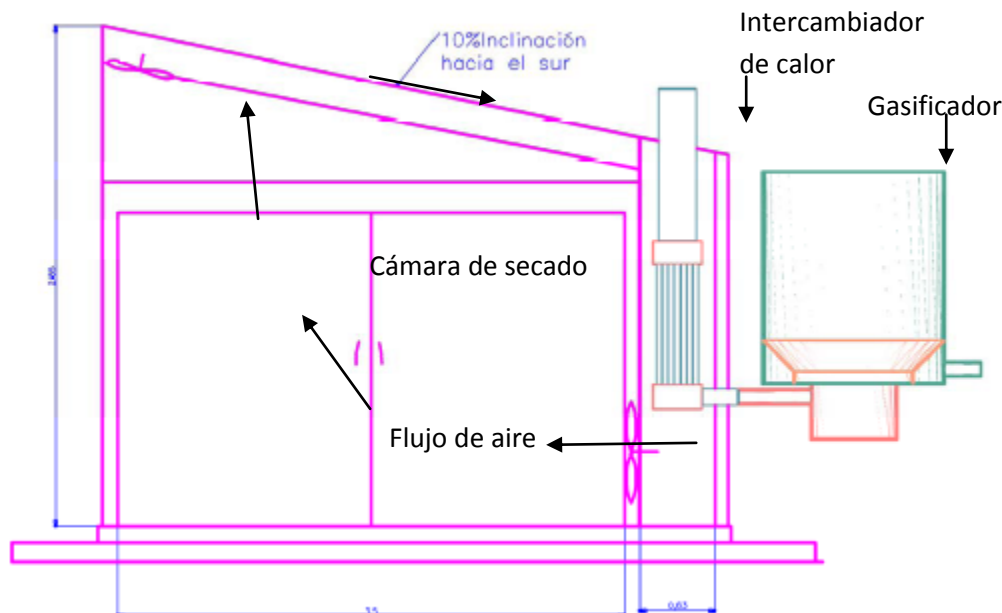


Figura 16: Secador Híbrido (solar-gasificador) de madera.

La cámara de secado tiene una dimensión de 3,5 x 3,5 m<sup>2</sup> de superficie y una altura promedio de 2,5 m. El cobertor del techo es de vidrio, con la finalidad de trabajar con la energía suministrada por el sol (secador

solar). La presente propuesta consiste en que en días soleados el secador pueda trabajar mediante la energía solar y en la noche con el gasificador. El secador tiene capacidad para una carga de madera, que representa 3000 pulgadas madereras ticas y tiene un volumen (debidamente estibada) de  $6,5 \text{ m}^3$ . Para evaluar las características de la carga se considera que en el estado inicial la madera tiene un 100% de humedad y una densidad promedio de  $500 \text{ kg/m}^3$ .

El intercambiador consiste en dos secciones rectangulares unidas por conductos que permiten el paso del aire para su respectivo calentamiento. Para su ubicación fue necesario crear un espacio que permitiera la circulación del aire de la cámara a través de éste, mediante la colocación de una pared al modelo original.

El gasificador se instaló en el exterior de la cámara y se conectó al intercambiador por medio de una unión de tope entre las tuberías de salida de cada elemento.

Se calculó que es necesario suministrar  $300 \text{ kJ/s}$  de energía calórica para mantener los siguientes requerimientos para el funcionamiento de la cámara de secado del modelo híbrido propuesto:

1. Mantener una temperatura interna en  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .
2. Cuando el aire interior llegue al 90 % de humedad relativa, renovar el aire.
3. Las paredes de la cámara tienen fibra de vidrio, para evitar la pérdida de calor en la cámara.
4. El piso es de concreto.
5. El techo es de vidrio de 5 mm de espesor.
6. La eficiencia del intercambiador de calor es de 70%
7. La eficiencia del gasificador se supone de un 60%

### 7.1.3 Muestra de cálculo de operación

Tabla 7: Hoja de Cálculo del Gasificador Descendente de garganta sencilla

	Item	Dato	Unidades	Ecuación
(1)	Demanda de energía de la cámara de secado	125	kJ/s	
(2)	$\eta$ del intercambiador	0,7		
(3)	$\eta$ del gasificador	0,6		
(4)	Demanda de energía del gasificador	298	kJ/s	(1)/(2)/(3)
(5)	Poder calorífico del gas pobre	4500	kJ/kg de madera	
(6)	Aire necesario por kg de madera de combustible	1,10	Nm <sup>3</sup> /kg de madera	
(7)	Producción de gas pobre por kg de madera	2,4	m <sup>3</sup> /kg de madera	
(8)	Capacidad Relativa <b>CR</b>	1200,0	kg/m <sup>2</sup> h	
(9)	Producción de gas requerida	<b>0,066</b>	m <sup>3</sup> /s	(4)/(5)
(10)	Consumo de madera en el gasificador por hora (combustible) <b>CM</b>	<b>99</b>	kg/h	((9)/(7))*3600
(11)	Demanda de aire para el gasificador	109	Nm <sup>3</sup> /hr	(10)*(6)
(12)	Demanda de aire para el gasificador	64	cfm	(11)/(0,3048) <sup>3</sup> /60
(13)	Diámetro de garganta <b>dt</b>	0,32	cm	$\sqrt[4]{(4*((19)/\pi)(8))}$
(14)	Relación entre entrada de aire y la garganta $ha/dt$	0,35		
(15)	Altura entre la entrada de aire y la garganta <b>ha</b>	0,114	m	(13)/(14)
(16)	Relación entre entrada del aire y diámetro de garganta $hr/dt$	1		
(17)	Altura entre entrada de aire y la parrilla <b>hr</b>	0,32	m	(13)*(16)
(18)	Velocidad de entrada del aire	32	m/s	
(19)	Número de entradas de aire	4		
(20)	Diámetro de tubería de aire ( <b>dta</b> )	17,4	mm	$\sqrt[4]{(4*(11)/3600/\pi/(19)/(18))}*1000$
(21)	Relación entre diámetro de entrada y diámetro de garganta ( $da/dt$ )	1,25		
(22)	Diámetro de entrada de aire <b>da</b>	0,41	m	(21)*(17)
(23)	AUTONOMÍA DE COMBUSTIBLE			
(24)	Alimentación de combustible	2	h	
(25)	Densidad del combustible	300	kg/m <sup>3</sup>	
(26)	Consumo de madera en el gasificador (combustible)	99	kg/h	(10)
(27)	Diámetro del tanque de combustible	0,8	m	
(28)	Altura del tanque de combustible (H)	1,32	m	(26)*(24)/(25)*4/ $\pi$ /(27) <sup>2</sup>



### 7.1.4 Representaciones gráficas de los componentes del secador

En las figuras 17 y 18 se muestran representaciones isométricas del gasificador, la primera ofrece un corte transversal para mostrar el detalle de su estructura interna.

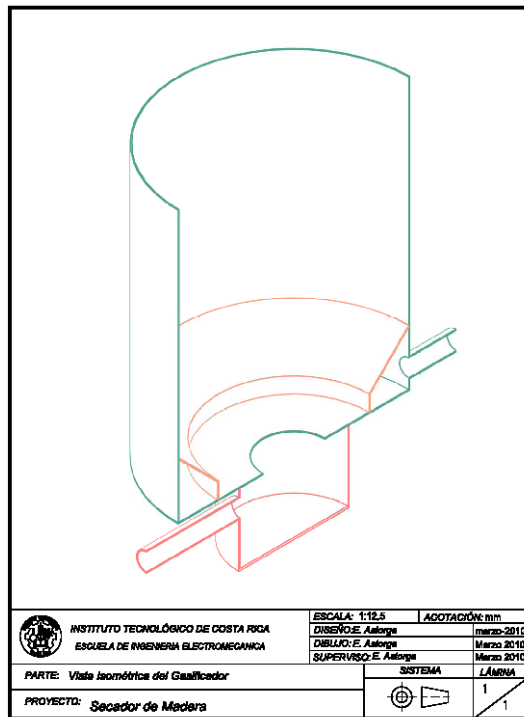


Figura 17: Representación isométrica del gasificador, corte transversal

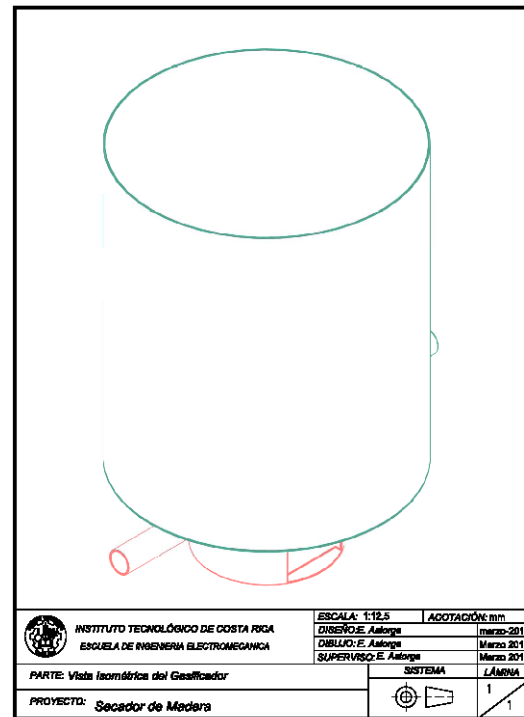


Figura 18: Representación isométrica del gasificador, detalle exterior

A continuación se muestra la representación gráfica del intercambiador de calor con el detalle de las dimensiones sugeridas para la presente propuesta de secador híbrido.

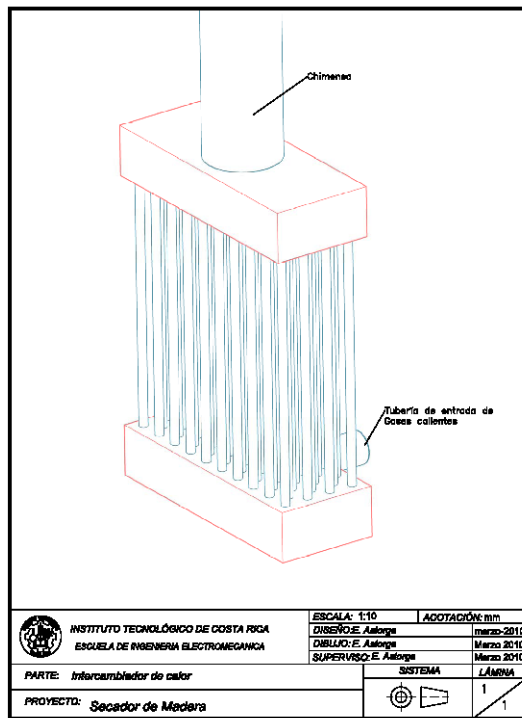


Figura 19: Diseño del Intercambiador de Calor

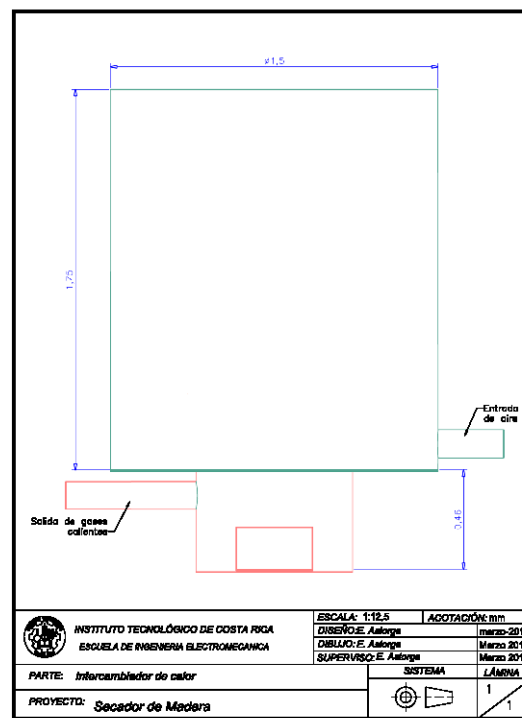


Figura 20: Diagrama interno del Intercambiador de Calor

Finalmente, mediante las figuras 21 y 22 se muestra el detalle de la integración del conjunto secador, intercambiador de calor y secador.

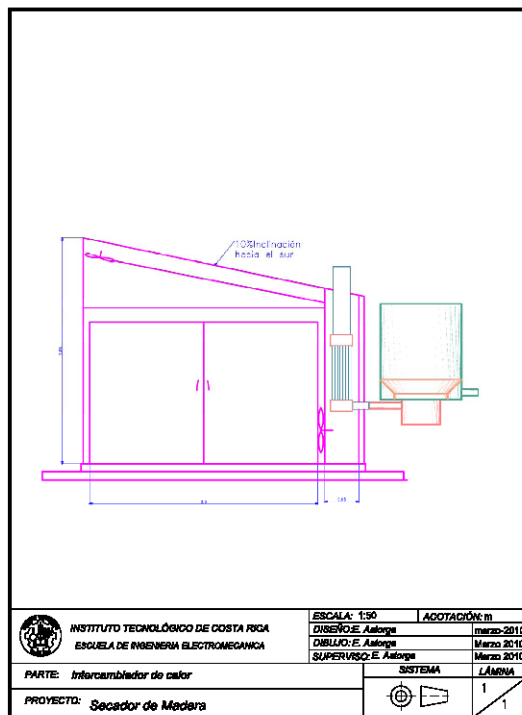


Figura 21: Modelo del Horno de secado con sistema de gasificación

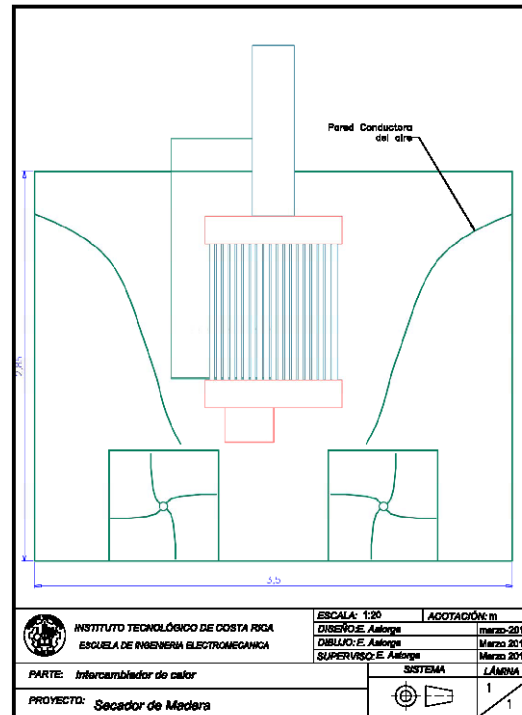


Figura 22: Intercambiador de calor

## 8. Evaluación financiera

Se realizó una estimación de la inversión inicial requerida para el proyecto, la cual se detalla en la Tabla 8. Puede observarse en la misma que esta inversión inicial no está incluyendo montos para efectos de terreno, toda vez que las dos organizaciones que podrían ser eventuales beneficiarias del mismo poseen áreas donde podría construirse el secador híbrido. La consideración de transporte de materiales se realizó estimando como localización una de estas opciones ubicada en Sarchí Norte.

Tabla 8: Estimación de inversión inicial requerida para la realización del proyecto

<i>Cantidad</i>		<i>Costo Unitario (¢)</i>	<i>Costo (¢)</i>	<i>U.S. \$ (¢525/\$)</i>
	<b>Gasificador</b>			
2	Láminas de acero 1.22X2.44 1/4 "	107.200,00	214.400,00	408,38
1	Ventilador Centrífugo 110m <sup>3</sup> /h Presión estática intermedia	110.000,00	110.000,00	209,52
4	Ventilador Axial 5m <sup>3</sup> /h	50.000,00	200.000,00	380,95
	<b>Intercambiador</b>			
4	Tubería hierro negro 1"	10.000,00	40.000,00	76,19
1	Tubería hierro negro 4"	47.200,00	47.200,00	89,90
	<b>Secador</b>			
2	Láminas Zn liso No. 24	9.000,00	18.000,00	34,29
50	Varas de madera 1 X 3 " (semidura)	2.000,00	100.000,00	190,48
1	Secador	4.000.000,00	4.000.000,00	7.619,05
	<b>Otros</b>			
25	Días de trabajador no calificado	9.000,00	225.000,00	428,57
40	Horas Taller	9.000,00	360.000,00	685,71
	<b>Inversión Inicial</b>			<b>10.123,05</b>

Seguidamente, se hizo una estimación de costos fijos y variables en la operación del proyecto, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 9: Estimación de costos fijos y variables

Costos Fijos	U.S. \$ (₡25/\$)	Costos Variables	U.S. \$ (₡25/\$)
Seguros	1.000	Transporte de materia prima (desechos)	5.714
Mano de obra	8.457	Materias primas directas	2.381
Servicios públicos	1.600	Recolección y entrega de madera	1.143
Mantenimiento maquinaria y equipo	1.200	Embalaje de cargas	914
Materiales de oficina	900	<b>Total</b>	<b>10.152</b>
Mantenimiento de instalaciones	1.200		
<b>Total</b>	<b>14.357</b>		

Para un mayor detalle de la información considerada en la estimación de los costos fijos y variables puede observarse la Tabla 10, que se muestra a continuación:

Tabla 10: Detalle de información considerada para la estimación de costos

Transporte de desechos de madera	Km/sem	₡/Km	₡/mes	Observaciones
20 kilómetros/día 5 días/semana	100	600	288.0000	Estimación que contempla la contratación de recorridos en un vehículo de carga durante las mañanas para cargar los desechos desde los talleres y transportarlos al secador
Materias primas directas	₡/sem		₡/mes	
Varios	25.000		108.250	Comprende materiales básicos para el funcionamiento del gasificador y el secador
Recolección y entrega de madera seca	₡/sem			
20 kilómetros/semana	12.000	600		Comprende la recolección y entrega de madera por secar desde los talleres hasta el secador y viceversa
Embalaje de cargas	₡/sem			
materiales varios	10.000			Comprende el embalaje de una carga de 3000 pulgadas cúbicas/semana
Mano de Obra			370.000	Comprende el salario de un trabajador no calificado con los respectivos montos relacionados con la seguridad social (48%)
Servicios públicos			70.000	Comprende la estimación por concepto de electricidad, agua y teléfono.

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

Los ingresos fueron calculados considerando ¢ 95 por pulgada cúbica de madera secada y procesando 3.000 pulgadas por semana durante 50 semanas al año. Con base en lo anterior se elaboró una proyección de flujo de caja para los primeros cinco años y estimar el Valor Actual Neto. Para este fin se consideró un escenario óptimo en el cual el proyecto puede desarrollarse con un financiamiento total no reembolsable de la inversión inicial y una tasa de descuento del 15% (consultada a personas de las organizaciones potencialmente beneficiarias del proyecto). Se asume el no pago de impuestos por lo estipulado en la Ley 6756. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 11: Valor Actual Neto para un plazo de 5 años en dólares

Concepto:		1 <sup>er</sup> año	2 <sup>do</sup> año	3 <sup>er</sup> año	4 <sup>to</sup> año	5 <sup>to</sup> año
Ingresos		26.571	29.229	31.886	34.543	37.200
Costos Variables		10.152	11.167	12.182	13.198	14.213
Costos Fijos		14.357	15.793	17.228	18.664	20.100
Gastos administrativos y ventas		1.329	1.461	1.594	1.727	1.860
Depreciación		800	800	800	800	800
Utilidad antes de impuestos		-66	7	81	154	227
Impuestos						
Utilidad después de impuestos		-66	7	81	154	227
Depreciación		800	800	800	800	800
Inversión Inicial	10.123					
Financiamiento no reembolsable	10.123					
<b>Flujo de Caja</b>	<b>0</b>	<b>734</b>	<b>807</b>	<b>881</b>	<b>954</b>	<b>1.027</b>
VAN		2.884				

Puede observarse que el Valor Actual Neto presenta un valor positivo, lo cual sugiere que bajo las condiciones optimistas consideradas, el proyecto podría tener un buen desempeño financiero. La consideración de otros escenarios donde el financiamiento se obtuviese parcial o totalmente vía préstamos bancarios fue valorada; sin embargo los resultados obtenidos para el Valor Actual Neto fueron negativos.

Cabe mencionar que si esta propuesta fuese evaluada desde una perspectiva de Economía Ambiental en la cual pudiesen externalizarse algunos costos del problema que pretende resolverse, es posible que la viabilidad de la misma mejore. Como ejemplos puede mencionarse el **costo ambiental** que implica el actual tratamiento que se da a muchos de estos desechos, particularmente en lo relacionado con la producción de gas metano y sus emisiones al ambiente, los **efectos sobre la salud pública** que representa la exposición al polvo de madera, agente que como se indicó anteriormente ha sido considerado un cancerígeno por exposición ocupacional desde el año 1995 por la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer y los **costos de calidad** que pueden implicar para los talleres el comercializar productos con madera que no ha sido debidamente tratada antes de la confección del mueble o pieza artesanal. Dicha valoración se encuentra fuera de los objetivos de este proyecto.

## 9. Divulgación de Resultados

Se convocó a la Junta Directiva de COOPEARSA para presentar los resultados del estudio y la propuesta de utilización de los residuos de madera.

Durante la presentación se les explicó sobre el funcionamiento y la logística necesaria para desarrollar el proyecto.



Se presentó el prototipo para el horno, su capacidad, rentabilidad y algunos de los indicadores financieros más importantes, con el fin de que pudieran tener información sobre la inversión.



Dentro de las observaciones realizadas por los miembros de la Junta Directiva destacan que el tiempo para el retorno de la inversión resultaba alto, además del riesgo debido a que muchos artesanos todavía prefieren “secar” la madera dentro de los talleres que enviarla a secadores comerciales.

Los miembros de la Junta coincidieron en que la humedad de la madera era un problema que los afectaba a todos, pues la calidad de los muebles se veía comprometida y con ésta, el renombre de los artesanos de la comunidad.

Se indicó que evaluarían la propuesta más detalladamente para determinar si la Cooperativa estaría en disponibilidad de realizar el proyecto.

## 10. Conclusiones

Los resultados de la consulta a las empresas mediante la encuesta hacen pensar que el sector de producción de muebles y artesanías en el cantón de Valverde Vega está compuesto en su totalidad por micro y pequeñas empresas, conforme a la clasificación utilizada para el fin por la Caja Costarricense del Seguro Social, predominando el primer grupo. Esto permite suponer que la capacidad de inversión de las mismas en forma individual puede ser limitada y el desarrollo de una alternativa que implique inversiones iniciales elevadas necesariamente supondrá la consideración de apoyo financiero externo.

La mayoría de los talleres dedicados a producción de muebles y artesanías en el cantón de Valverde Vega están ubicados en dos distritos del cantón (Sarchí Norte y Sarchí Sur), lo cual hace suponer que asuntos de logística en materia de recolección de desechos no implican grandes desplazamientos.

No obstante la diversidad de piezas elaboradas en los talleres, se observó una distribución de los materiales que sigue el principio de Pareto, donde el 79% de la cantidad de los mismos corresponde a un 21% de los tipos de material y especies de madera. Estos pocos críticos están constituidos básicamente por maderas provenientes de plantaciones y materiales elaborados con base en madera.

En relación con la generación de desechos, la mayor proporción tanto en volumen como en peso corresponde a los “cabos de madera” y la “borucha”. Esta característica del material de desecho fue importante para la evaluación de las alternativas que se discutieron con los artesanos y muebleros.

La forma en que actualmente los empresarios están disponiendo de los desechos estuvo claramente delimitada por el tipo de desecho, mostrándose una clara predominancia de usos como abono, en granjas animales y como combustible. El balance económico en relación con los desechos es desfavorable para los empresarios, ya que es más el dinero que gastan en buscar cómo eliminarlos que el que reciben por los mismos. Esta situación facilita la elección de alternativas, ya que en la mayoría de los casos los empresarios tendrían una muy buena disponibilidad a deshacerse de ellos en forma gratuita.

Se identificaron 16 alternativas para el uso de los desechos, las cuales fueron valoradas por el equipo de investigación; finalmente se consideraron para presentar a los talleristas dos de ellas: elaboración de pellets y un horno de secado de madera. Se consideró que la opción de un horno de secado de madera podría ser altamente conveniente para el sector e impactar positivamente las dos organizaciones.

La implementación del horno de secado híbrido para el secado de madera pretende ser una opción parcial para resolver el problema de desechos de madera abordado en este proyecto, dado que las cantidades de estos desechos generados en la zona exceden los requerimientos de consumo de la propuesta actual; sin embargo, la propuesta ofrece una alternativa limpia y segura para agregar valor a la calidad de los productos elaborados en la región y permite disminuir las consecuencias ambientales y sociales que genera un inadecuado manejo de estos desechos sólidos.

## 11. Aportes y alcances:

El presente proyecto ofrece a los micro y pequeños productores de muebles de madera y artesanías de Sarchí una oportunidad para:

- Mejorar su relación con las instituciones gubernamentales encargadas de velar por la salud de la población y el ambiente, al contar con una opción para utilizar materiales que han venido generando problemas y denuncias por parte de personas afectadas por los mismos.
- Mejorar la calidad de los productos que se ofrecen al mercado nacional y extranjero que, ocasional o permanentemente, adquiere los muebles o artesanías producidos con madera. Esto mediante la garantía de que las maderas utilizadas han sido secadas hasta niveles óptimos, cumpliendo con especificaciones de calidad.
- Disponer en forma sistemática y ambientalmente responsable de una parte de los desechos de madera generados en el proceso productivo.
- Contar con materia prima de calidad accesible, sin tener que depender de la capacidad de hornos de secado de empresas ajenas a la comunidad, ni correr con los gastos de transporte de los materiales.
- Ofrecer productos más alineados con los requerimientos actuales de protección al ambiente.
- Obtener beneficios en la materia prima principal utilizando desechos que de lo contrario implicarían erogaciones o problemas para la micro o pequeña empresa.
- Mejorar la imagen y el prestigio de la artesanía y los muebles de la zona de Sarchí.

De igual forma, el proyecto aporta a las Escuelas involucradas en los siguientes aspectos:

- Ofrece la oportunidad de vinculación con sectores productivos que normalmente no son atendidos por las instancias gubernamentales, dada su condición de informalidad y con ello contribuir con la responsabilidad social universitaria.
- Contar con un espacio de aplicación de los conocimientos tecnológicos en condiciones reales de producción.
- Ofrece a los docentes de las Escuelas participantes oportunidad de vincular su trabajo en estos sectores productivos y sociales con su actividad docente, enriqueciéndose el proceso de enseñanza aprendizaje.
- Ofrece un espacio de trabajo y aprendizaje multidisciplinario entre profesionales con formación en Química, Ingeniería Forestal, Ingeniería en Mantenimiento, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial para la propuesta de soluciones concretas a problemas reales en el área de la Higiene Ambiental.
- Aporta al cumplimiento de la Misión Institucional y las Misiones de las Escuelas.
- Mejora de la imagen de las Escuelas ante los sectores productivos y sociales y con ello del ITCR.

Entre los aportes significativos a la comunidad de Sarchí, pueden mencionarse:

- La producción de muebles y artesanías es una actividad de fundamental importancia para la comunidad; sin embargo los desechos generados han sido considerados un problema comunal de salud pública. La implementación de la propuesta detallada en este proyecto permitirá a la comunidad contar con una opción para resolver un problema y agregar valor a los procesos productivos.
- Una mejora en la calidad de los productos de madera y en la imagen de las empresas en la comunidad reditúa en el mejoramiento de su economía.
- Esta propuesta ofrece un ejemplo claro de la factibilidad y conveniencia de intervenciones inspiradas en el Triángulo de Sábado, particularmente con empresas micro y pequeñas, asociadas en organizaciones de



economía social y el apoyo del Ministerio de Salud en la atención de una problemática de típica de la Higiene Ambiental.

## **12. Agradecimientos:**

*Al Instituto Tecnológico de Costa Rica por su apoyo para la ejecución del estudio.*

*A las Juntas Directivas de COOPEARSA y ASOARTE por la colaboración ofrecida en el desarrollo del proyecto.*

### 13. Bibliografía:

Assumpção, R.M.V.: (1981) Considerações sobre a utilização de gás de madeira como combustível em caldeiras, Centro Técnico em Celulose e Papel. IPT. São Paulo. II Congresso Brasileiro de Energia

Bellion, Mattei y Treves (1987): OSHA PEL Project Documentation, Center for Diseases Control and Prevention. National Institute of Occupational Safety and Health. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/wooddust.html>.

Black, A.; Evans, J. C.; Hadfield, E. H.; MacBeth, R. G.; Morgan, A.; Walsh, M. (1974). Impairment of nasal mucociliary clearance in woodworkers in the furniture industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 31, 10-17

Brosseau, L., & al, e. (2002). Designing Intervention Effectiveness Studies for Occupational Health and Safety. *American Journal of Industrial Medicine* , 41:54-61.

Carosso, A. (1987). Respiratory Diseases in Wood Workers. *BR J Ind Med* , 44(1): 53-56.

Censos., I. N. (2000). Censo Nacional de Costa Rica 2000. San José, Cosra Rica.

Chaves, J., & al, e. (2005). TICAREX Exposiciones laborales a agentes cancerígenos y plaguicidas en Costa Rica. *Arch. Prev. Riesgos labor.* , 8 (1): 30-37.

Salas, C; Moya, R; Córdoba, R. 2008. Diseño y construcción de un secador solar para madera. *Kurú Revista Forestal* 5(14). Consultado en: [http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista\\_Kuru/anteriores/anterior14/pdf/nota%201.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior14/pdf/nota%201.pdf).

CONICIT, C. N. (2007). Definiciones y Conceptos Básicos. San José, Costa Rica.

Demers, P.A., Kogevinas, M., Boffetta, P. , Leclerc, A., Luce, D., Gerin, M., Battista, G. Belli, S., Bolm-Audorf, U., Brinton, L.A., Colin, D., Comba, P., Hardell, L., Hayes, R.B., Magnani, C., Merler, E., Morcet, J.F., Preston-Martin, S., Matos, E., Rodella, S., Vaughan, T.L., Zheng, W. & Vainio, H. (1995) Wood dust and sino-nasal cancer: a pooled re-analysis of twelve case-control studies. *Am. J. ind. Med.*

Enarson, D. C. (1990). Characterization of health effects of wood dust exposures. *Am J Ind Med* , 17(1): 33-8.

FAO., O. d. (1993). El gas de madera como combustible para motores. Roma: FAO, 2da edición.

Hausen BM, R. H. (1981). Allergic contact dermatitis caused by olive wood jewelry. *Arch Dermatol.* , 117(11): 732-4.

Hernández, R. ( 2003). Metodología de la Investigación. . México: Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición.

International Agency for Research on Cancer, I. (1995.). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk in Humans. Vol 62: Wood dust and formaldehyde. Lyon: IARC.

Jiménez, Q., & Poveda, L. (1991). Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. Contribuciones del Departamento de Historia Natural.

Lazovich, D. (2002). Sample size considerations for studies of intervention efficacy in occupational setting. *Ann Occup Hyg.* , 46(2): 219-27.

Lazovich, D. e. (2002). Effectiveness of a Worksite Intervention to Reduce an Occupational Exposure: The Minnesota Wood Dust Study. . *American Journal of Public Health.* , 92 (9).

Leclerc, A., Martínez Cortes, M., Gérin, M., Luce, D., & Brugère, J. (1994). Sinonasal cancer and Wood dust exposure: Results from a case-control study. . *Ame J. Epidemiol.* , 140 (4): 340-9.

Liou, S. H., Cheng, S. Y., Lai, F. M., & Yang, J. L. (1996). Respiratory symptoms and pulmonary function in mill workers exposed to wood dust. *Am J Ind Med.* , 30(3) 293-9.

Meo, S.A.: Effects of Duration of Exposure to Wood Dust on Peak Expiratory Flow Rate among Workers in Small Scale Wood Industries. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2004; 17 (4): 451-455

M.S, M. d. (2000). Diagnóstico de talleres de Madera en el Cantón de Valverde Vega. Alajuela, Costa Rica: Dirección Regional de Valverde Vega.

Mata, C. (2006). Exposición Ocupacional a polvo de Madera en pequeños talleres de muebles y artesanías en Sarchí. . Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ing. en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental.

NIOSH. Manual of Analytical Methods. Method 0500 Particulates. EUA.

Partanen, T. e. (2003). Workplace carcinogen and pesticida exposures in Costa Rica. . *Int J Occup Environ Health* , 9:104-111.

Vinzents, P. e. (2001). Variations in Exposure to Inhalable Wood Dust in the Danish Furniture Industry. Within- and between worker and Factory Components Estimated from Passive Dust Sampling. *Ann. Occup. Hyg* , 45 (7): 603-608.

Woods, B., & Calnan, C. D. (1976). Toxic woods. *Br J Dermatol* , 94 (13 Suppl): 1-97.

## APÉNDICE A

*Instituto Tecnológico de Costa Rica*

*Vicerrectoría de Investigación y Extensión - Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental*

**Proyecto: Utilización de residuos de madera en pequeños talleres de artesanía y elaboración de muebles en la comunidad de Sarchí**

**Cuestionario No.** \_\_\_\_\_

**Taller código:** \_\_\_\_\_

### **Encuesta: Generación de residuos de madera**

**I. Datos generales:**

1.1 Fecha: \_\_\_\_\_ 1.2 Encuestador: \_\_\_\_\_

1.3 Nombre del Taller: \_\_\_\_\_

1.4 Nombre del (los) Propietario(s): \_\_\_\_\_

1.5 Dirección exacta: \_\_\_\_\_

---

1.6 Teléfono: \_\_\_\_\_ 1.7 Fax: \_\_\_\_\_ 1.8 Correo elec: \_\_\_\_\_

1.9 Número de empleados (últimos 6 meses): \_\_\_\_\_

**II. Equipos y maquinarias:**

**2.1 Maquinaria fija:**

**2.1.1 Sierras**

a. Sierra radial: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

b. Sierra circular múltiple: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

c. Sierra circular: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

d. Sierra de cinta: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.2 Cepilladoras

- a. Cepilladora aplanadora: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- b. Molduradora: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.3 Perforadoras

- a. Taladro múltiple: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- b. Escoplo: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- c. Escoplo semiautomático: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- d. Espigadora: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- e. Trompo (tupí): \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.4 Moldurado

- a. Trompo: \_\_\_\_\_  
Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo  
Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )
- b. Rebajadora: \_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.5 Torno

---

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.6 Prensas

a. Múltiple rotativa:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

b. Prensa para tableros:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

### 2.1.7 Lijadoras

a. Lijadora de disco:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

b. Lijadora de banda y disco:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

c. Lijadora de banda vertical:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

d. Lijadora de banda horizontal:\_\_\_\_\_

Cantidad:\_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

---

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

e. Lijadora regruesadora: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

f. Lijadora para pieza curvas: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( )

polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

**2.2 Equipos portátiles:**

a. Sierra circular: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

b. Cepillo: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

c. Caladora: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

d. Lijadora de banda: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

e. Taladro: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

f. Rebajadora: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )

g. Atornilladores: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_ Estado: ( ) bien ( ) regular ( ) mal Uso: ( ) alto ( ) medio ( ) bajo

Tipo(s) de residuo(s): ( ) polvo ( ) borucha ( ) cabos ( )





**III. Productos elaborados (últimos 6 meses):**

**3.1 Muebles**

**3.1.1 Comedor:**

- a. ( ) Mesas. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Sillas. Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Alacenas. Especies: \_\_\_\_\_
- d. ( ) Otros. Especies: \_\_\_\_\_

**3.1.2 Sala**

- a. ( ) Sofás. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Sillones. Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Mesas de centro. Especies: \_\_\_\_\_
- d. ( ) Televisión-equipos de sonido. Especies: \_\_\_\_\_
- e. ( ) Mecedoras. Especies: \_\_\_\_\_
- f. ( ) Otros. Especies: \_\_\_\_\_

**3.1.3 Cocina**

- a. ( ) Despensas. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Aéreos. Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Fregaderos. Especies: \_\_\_\_\_
- d. ( ) Otros. Especies: \_\_\_\_\_

**3.1.4 Oficina**

- a. ( ) Escritorios. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Sillas. Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Estanterías. Especies: \_\_\_\_\_
- d. ( ) Escritorios para computadora. Especies: \_\_\_\_\_
- e. ( ) Otros. Especies: \_\_\_\_\_

**3.1.5 Dormitorios**

- a. ( ) Camas. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Cunas. . Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Veladoras. Especies: \_\_\_\_\_
- d. ( ) Sofá-camas. Especies: \_\_\_\_\_
- e. ( ) Televisión-equipos de sonidos. Especies: \_\_\_\_\_
- f. ( ) **Otros.** Especies: \_\_\_\_\_

**3.2 Artesanías**

- a. ( ) Bisutería. Especies: \_\_\_\_\_
- b. ( ) Vajilla. Especies: \_\_\_\_\_
- c. ( ) Otros. Especies: \_\_\_\_\_

**3.3.Otros**

**IV. Especies de madera utilizadas durante los últimos 6 meses:**

4.1 Cenízaro

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.2 Laurel

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.3 Teca

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.4 Melina

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.5 Cocobolo

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.6 Pino

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.7 Eucalipto

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.8 Guanacaste

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.9 Cedro

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.10 Cedro amargo

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.11 Aglomerados

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

4.12 Plywood

Cantidad:\_\_\_\_ Usos:\_\_\_\_\_

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

---

4.13 Otros: \_\_\_\_\_

Cantidad: \_\_\_\_\_ Usos: \_\_\_\_\_

---

Cantidad: \_\_\_\_\_ Usos: \_\_\_\_\_

---

Cantidad: \_\_\_\_\_ Usos: \_\_\_\_\_

---

Cantidad : \_\_\_\_\_ Usos: \_\_\_\_\_

---

Cantidad: : \_\_\_\_\_ Usos: \_\_\_\_\_



---

---

---

---

c. Equipos:

---

---

---

---

---

d. Otras consideraciones:

---

---

---

**VI. Tipo de residuo generado:**

Realizar un croquis del local y ubicar por área y por máquina la **generación** de desechos clasificados en:

P: Polvo, B: Borucha, C: Cabos

---

**VII. Destinos para los residuos:**

7.1 ¿Qué se está haciendo actualmente con los residuos de madera?

Polvos: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

Borucha: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

Cabos: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

Otros: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

7.2 ¿Se han recibido ingresos económicos por el desecho de residuos durante los últimos 6 meses?

( ) Sí ( ) No ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

7.3 ¿Se deben hacer erogaciones por la disposición de los residuos?

( ) Sí ( ) No ¿Cuánto? \_\_\_\_\_



ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD  
LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL

---

Observaciones: \_\_\_\_\_

---

\_\_\_\_\_.12/02/2008