

U1828.



CAPITULO X

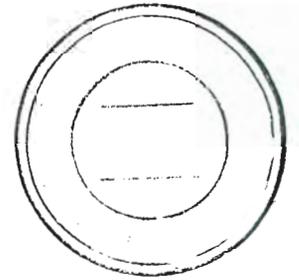
**RESIDUOS FORESTALES  
Y TECNOLOGIAS PARA SU UTILIZACION**

Preparado para : Fondo de Investigaciones  
Agropecuarias

Por : FUNDACION GILLE

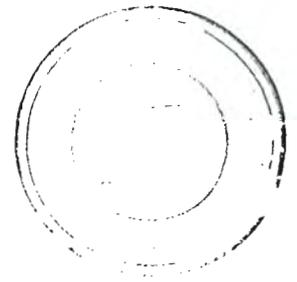
Fecha : Diciembre de 1983



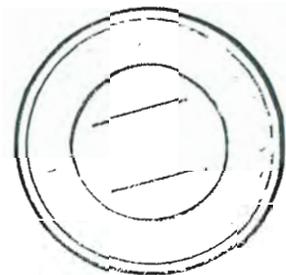


I N D I C E  
=====

	Pág.
1. IDENTIFICACION DE LOS RESIDUOS . . . . .	1
2. ESTIMACION DE CANTIDADES DE RESIDUOS . . . . .	6
2.1. Residuos en el Bosque . . . . .	8
2.2. Residuos en Industria de Transformación Primaria . . . . .	8
2.2.1. Trozas de Exportación . . . . .	8
2.2.2. Aserrío . . . . .	9
2.2.3. Plantas de Pulpa y Papel . . . . .	12
2.2.4. Tableros y Chapas . . . . .	12
2.3. Residuos en Elaboración Primaria . . . . .	14
2.4. Resumen Estimación Cantidad de Residuos . . . . .	15
3. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS RESIDUOS . . . . .	16
3.1. Distribución de Residuos por Región . . . . .	16
3.2. Estimaciones del Número y del Tamaño de las Empresas que Ge- neran Residuos . . . . .	21
4. RESIDUOS DE INTERES . . . . .	25
4.1. Identificación de Residuos de Interés . . . . .	25
4.2. Formas de Utilización o Eliminación en el País . . . . .	26
5. SELECCION DE TECNOLOGIAS . . . . .	28
5.1. Recurso Energético . . . . .	29
5.2. Fuente de Fibras . . . . .	30



	Pág.
5.3. Materia Prima de Productos Químicos y Bioquímicos . . . . .	30
6. CARTILLAS CON TECNOLOGIAS PROMISORIAS . . . . .	32
6.1. Tecnologías Promisorias Probadas en el País . . . . .	32
6.1.1. Energía Térmica Industrial . . . . .	32
6.1.2. Calefacción con Aserrín . . . . .	39
6.1.3. Carbón Vegetal . . . . .	42
6.1.4. Carbón Activado . . . . .	53
6.2. Tecnologías Promisorias sin Aplicación en el País . . . . .	56
6.2.1. Energía Térmica Industrial . . . . .	56
6.2.2. Energía Eléctrica con Gasógenos . . . . .	58
6.2.3. Combustibles por Destilación Seca . . . . .	60



## 1. IDENTIFICACION DE LOS RESIDUOS

Los recursos forestales del país están constituidos básicamente por 7,62 millones de hectáreas de bosques naturales y 0,88 millones de hectáreas de plantaciones (INFOR, 1983).

El consumo de rollizos, por los principales rubros de la industria de transformación primaria de la madera, alcanzó en 1982 los siguientes niveles (INFOR, 1983):

<u>RUBRO</u>	<u>Volumen<sub>3</sub></u> <u>(millones de m<sup>3</sup> ssc.)</u>
Trozas de exportación	0,9
Madera aserrada	2,4
Pulpa	3,1
Tableros y chapas	0,2
Otros	0,2
<hr/> T O T A L	<hr/> 6,8

Desde 1974 hasta 1978 el consumo de madera acusa una tendencia de aumento moderada y sostenida. Durante los años 1979, 1980 se produjo un fuerte incremento, principalmente en el consumo de la industria del aserrío y en la exportación de rollizos. Los años 1981 y 1982 registran una tendencia a la normalidad con respecto al crecimiento que se registra hasta 1978.

El 90,5% del consumo registrada en 1982, corresponde a madera de Pino Insigne (Pinus radiata), conífera exótica de rápido crecimiento que es actualmente la principal especie forestal del país, ya que el 89,6% de

la superficie plantada esta constituida por bosques de ésta.

El volumen restante corresponde a madera de diferentes especies nati  
vas y exóticas.

La participación de madera de Pino Insigne en los volúmenes totales consumidos por la industria de transformación primaria es la siguiente (INFOR, 1983):

R U B R O	Participación	Volumen (m <sup>3</sup> ssc. )
Trozos de exportación	99,6	888.453
Madera aserrada	86,4	2.116.149
Pulpa (química mecánica)	97,0 - 100,0	2.720.648 (1)
Tableros y chapas	85,3	204.765
Otros	0,0	- (2)
<b>T O T A L</b>	-	<b>5.930.015</b>

Lo anterior indica que los principales volúmenes de residuos forestales resultan de la explotación de las plantaciones de Pino Insigne y de la transformación y elaboración primaria de la madera proveniente de éstas.

- (1) Se han descontado 300.000 m<sup>3</sup>, que la industria del aserrío obtiene como subproducto y entrega a las plantas de pulpa, porque no representan una demanda sobre el bosque.
- (2) Existe una cierta participación de Pino Insigne, que no es posible cuantificar, en la producción de rollizos impregnados para cercos y viñas.

Volúmenes adicionales resultan de la explotación y procesamiento primario de plantaciones de otras exóticas y de los bosques naturales. Aunque la participación de otras exóticas y bosques naturales en el consumo total, alcanzaría a unos 600 mil metros cúbicos no se consideran de importancia los volúmenes de residuo en este caso. Esto se debe a que existe escasa información, principalmente en las plantaciones de otras exóticas y a que los residuos quedan muy dispersos, en el caso de los bosques naturales, en los cuales no se explota o tala rasa y la transformación primaria a menudo se hace en los bosques mismos.

Los volúmenes residuales en la utilización de los bosques artificiales son considerables. Si se considera que el volumen total producido por el bosque esta compuesto por los árboles enteros y sólo se extrae el volumen comercial, representado por rollizos que deben cumplir con una serie de especificaciones de orden cuantitativo y cualitativo, permanecen en el lugar importantes volúmenes de residuos cuyo único destino es ser quemados para habilitar el terreno para una nueva plantación.

El volumen comercial obtenido de las plantaciones es la materia prima para diversos rubros de la industria de transformación primaria de la madera (1). Cada uno de estos rubros tiene, desde el punto de vista de los residuos, un distinto nivel de eficiencia.

La exportación de rollizos es un rubro de utilización que prepara las trozas bajo distintas especificaciones, en el bosque. Puede tener ciertos niveles de rechazo, pero si así ocurre, estos volúmenes se reciclan hacia otros rubros, por lo tanto su eficiencia se puede establecer en un 100%.

(1) Toda aquella instalación industrial que consume madera en rollos.

La industria del aserrío muestra rendimientos variables. Desde los aserraderos grandes y altamente técnicos que, contando con equipos descortezadores y astilladores, dejan en el proceso solamente corteza y aserrín, hasta aquellos de menor eficiencia que producen como residuo grandes cantidades de tapas, lampazos, despuntes, cantos y aserrín.

Las grandes plantas que elaboran las diferentes pulpas de madera cuentan con descortezadores, en el inicio de su línea de elaboración, que dejan como residuo grandes volúmenes de corteza.

Las plantas de tableros y chapas tienen rendimientos variables, según el producto final y la instalación de que se trate, que también generan importantes cantidades de residuos.

De lo anterior se desprende que habrían diferentes categorías o fuentes de residuos en la producción forestal. Los principales de éstos son los siguientes:

- Residuos en Bosque

Raíces

Tocones

Copas

Trozos quebrados

- Residuos en Plantas Industriales

= Aserraderos con Descortezador y Astillador

Corteza

Aserrín

= Aserraderos sin Descortezador y Astillador

Tapas

Lampazos  
Aserrín  
Despuntos  
Cantos

= Plantas de Pulpas

Corteza  
Lejías residuales

Se debe agregar finalmente el material residual que generan plantas de elaboración primaria (barracas), que producen cantidades de residuos que, aunque volumétricamente no son de gran importancia, revisten un especial interés por ubicarse principalmente dentro de los grandes centros urbanos.

Estas plantas de elaboración primaria se abastecen principalmente de basas y maderas en bruto y generan materiales residuales tales como:

- Aserrín
- Despuntos
- Popelillo
- Cantos
- Virutas

## 2. ESTIMACION DE CANTIDADES DE RESIDUOS

Los residuos forestales que son posibles de cuantificar y que, por su cantidad y distribución física, son de importancia, alcanzan volúmenes considerables.

La extracción de madera de las plantaciones forestales en 1982 alcanza a 5,93 millones de metros cúbicos sólidos sin corteza. Esta cifra considera madera rolliza que se extrae del bosque con corteza, pero en la cubicación se excluye del cálculo.

El volumen que representa la corteza, en términos porcentuales respecto al rollizo con corteza, depende principalmente del diámetro y de la calidad de sitio en que creció el árbol (INFOR, 1982).

Relaciones entre volumen con y sin corteza, establecidas para el fuste desde los 30 cm de altura hasta el ápice, y para diferentes Índices de Sitio, indican que la corteza representa aproximadamente un 10-11,5% del volumen del fuste con corteza. Igual relación, pero desde los 30 cm de altura hasta el 25% de la altura del fuste, alcanza valores aproximados de 12,3 - 18,7%.

Si se considera que el volumen que se extrae del bosque es intermedio entre el que corresponde a la altura total y el que considera sólo el 25% de ésta, parece razonable estimar el volumen de corteza en una cifra promedio equivalente al 15% del volumen de rollizos con corteza.

El volumen extraído de las plantaciones de Pino Insigne en 1982 alcanzaría a 6,98 millones de metros cúbicos con corteza, por lo que habría 1,05 millones de metros cúbicos de corteza en la extracción anual,

parte importante de los cuales quedan como residuo en distintos rubros de la industria de transformación primaria.

La extracción de 5,93 millones de metros cúbicos sólidos sin corteza de los bosques artificiales, deja una considerable cantidad de residuos en el bosque mismo. Estos residuos, compuestos por los copas y tocones, además de cierta cantidad de trozas quebradas y árboles sin extraer, se estiman en un 10% con respecto al volumen extraído, por lo que el volumen de residuos que queda en el bosque después de la explotación alcanzaría a unos 0,59 millones de metros cúbicos.

En consecuencia, antes de que la madera ingrese a las plantas de transformación primaria, es posible visualizar volúmenes de residuos que serían los siguientes:

Residuos en el bosque	:	593.000 m <sup>3</sup>	(copas, tocones, otros)
Corteza en rollizos	:	1.046.000 m <sup>3</sup>	(sólo se rescata como energía en algunas calderas, y participando en la elaboración de ciertos productos como tableros)

Resultado de interés destacar que si la industria de transformación primaria de la madera estuviera produciendo a un nivel acorde a su actual capacidad instalado, la extracción de madera de los bosques y, por lo tanto los volúmenes residuales se duplicarían.

En los puntos siguientes se intentará un desglose y cuantificación de los principales residuos forestales, según la faena o proceso productivo en que se generan.

## 2.1 Residuos en el Bosque

Se mencionó anteriormente que las faenas de explotación en las plantaciones, debido a la diferencia entre volumen total y volumen comercial con corteza, dejan residuos en el bosque, en forma de copas, tocones, trozas quebradas y otros, que alcanzan a unos 593.000 m<sup>3</sup>.

Estos residuos no son utilizados actualmente, ya que posteriormente se queman para despejar el terreno y establecer una nueva plantación.

No se han considerado residuos subterráneos por el alto costo y la dificultad de su extracción.

## 2.2 Residuos en Industria de Transformación Primaria

### 2.2.1 Trozas de Exportación

No existen residuos utilizables en este rubro. Las trozas se extraen del bosque y posteriormente se transportan y se embarcan con corteza. Se produce algún porcentaje de desclasificación o rechazo, pero esta madera se recicla hacia la industria del aserrío.

Existe cierta pérdida de corteza en el madereo y manipulación de las trozas, pero ésta queda dispersa y sólo se produce alguna acumulación en canchas de acopio, en las cuales se mezcla con tierra y piedras, por lo que no es rescatable como residuo útil.

El volumen extraído en forma de trozas de exportación en 1982 alcanza a 888.453 m<sup>3</sup> ssc. En este caso, por tratarse principalmente de las trozas de mayor diámetro que se extraen de las plantaciones, se estima el volumen de corteza en un 19% del volumen de la troza con corteza. Para esto se ha utilizado la relación volumétrica en rollizos con y sin corteza, establecida para la parte del fuste comprendido entre los 30 cm y los 5,3 m de altura que varía entre 16,7 y 21,3 % de contenido de corteza, según la calidad del sitio (IHFOR, 1982).

La estimación anterior obliga a descontar unos 208.000 m<sup>3</sup> de corteza, que no estaría disponible como residuo, de los 1.044.000 m<sup>3</sup> que antes se habían establecido en forma general para la corteza en rollizos.

#### 2.2.2. Aserrío

Se encuentran actualmente en operaciones unos 9 aserraderos que cuentan con equipos descortezadores y astilladores ( 8 de estos en la VIII Región). Su producción en conjunto en 1982 fue aproximadamente 400.000 m<sup>3</sup>.

El rendimiento de estos aserraderos, a partir de volumen sólido con corteza, se puede estimar en un 48% en madera aserrada, por lo que su consumo en 1982 habría sido de unos 834,8 miles de metros cúbicos sólidos con corteza (709.546 m<sup>3</sup> ssc.), para producir:

	Volumen (miles m <sup>3</sup> )	Proporción (%)
Madera aserrada	400,7	48
Astillos	267,1	32
Corteza	100,2	12 (1)
Aserrín	50,1	6
Pérdida por contracción	16,7	2
<b>Total</b>	<b>834,8</b>	<b>100</b>

El consumo de la industria del aserrío en 1982 alcanza a 2.116.000 m<sup>3</sup> ssc. y los aserraderos con equipo descortezador consumen 834,8 miles de metros cúbicos sólidos con corteza. El consumo total es de 2.116.149 m<sup>3</sup> ssc., por lo que los aserraderos restantes, sin astillador en sus líneas, consumirían aproximadamente 1.406.603 m<sup>3</sup> ssc. (1.654.827 m<sup>3</sup> scc.), para producir:

	Volumen (miles m <sup>3</sup> )	Proporción (%)
Madera aserrada	728,1	44
Sólidos (Tapas, Lam- pazos, despuntes)	661,9	40
Aserrín	231,7	14
Pérdida por contracción	33,1	2
<b>Total</b>	<b>1.654,8</b>	<b>100</b>

(1) Se considera una reducción del 3% del volumen de corteza (15%) por pérdida de ésta en manipulación y transporte, lo cual incrementa en 3% la demanda real sobre el bosque.

El primer grupo de aserraderos, provistos de astilladores, dejan como residuos corteza y aserrín, pero cuatro de estos (Carampange, Maderas Bío-Bío, Inforsa Nacimiento y Dichoco) utilizan la mayor parte de éstos residuos en la generación de energía, o los venden a industrias cercanas - que los emplean con el mismo fin. En conjunto utilizan unos 64.600 m<sup>3</sup> de corteza y unos 32.300 m<sup>3</sup> de aserrín.

De lo anterior se desprende que como residuos sin utilización actual, en la industria del aserrío, se producirían:

Tipo	Volumen (miles m <sup>3</sup> )
Corteza	35,6
Aserrín	249,5
Sólidos (Tapas, Lampazos, despuntes)	661,9
	947,0

### 2.2.3. Plantas de Pulpa y Papel

Tanto las plantas de pulpa mecánica como química utilizan la corteza o al menos la mayor parte de ésta, además de nudos y haces de fibras, en la producción de energía para sus procesos, por lo que no habrían cantidades importantes de desechos.

Otro posible desecho en la industria de pulpa y papel la representan las lejías.

Las fábricas que utilizan el proceso denominado Al Sulfato (Laja, Arauco y Constitución) consumen íntegramente las lejías en la regeneración de sus reactivos y en la produc-ción de energía térmica y eléctrica.

La planta de Nacimiento, que es la única que emplea el proceso Al Sulfito y produce celulosa para su propio consumo en la elaboración de papel de diario, deja como residuo sin utilización unos 300 m<sup>3</sup> por día de lejía.

Esta lejía contiene un 10% aproximadamente de sólidos consistentes en sales sódicas y complejos orgánicos, y habitualmente se desecha a los desagües. Este residuo representa unos 100.000 m<sup>3</sup> de lejía o unas 10 mil toneladas de materia sólida al año.

### 2.2.4. Tableros y Chapas

En el proceso de elaboración de este rubro de la industria primaria, tanto para los tableros de fibra, particulos y contrachapacos como para las chapas, no se producen conti

dades importantes de residuos que no sean utilizados por -  
las plantas mismas.

En algunos casos incluso la corteza entra en el pro-  
ceso (tableros de fibra) y en otros los residuos de la produc-  
ción son destinados a la obtención de energía.

### 2.3 Residuos en Elaboración Primaria

El Area Metropolitana concentra alrededor del 20% de la capacidad instalada de barracas en el país.

Estadísticas obtenidas de transporte terrestre hasta 1981 - (Infor 1982), indican un ingreso de unos 500.000 m<sup>3</sup> de madera en bruto al Area Metropolitana. Un 90% de este volumen pasa las barracas y el 20% restante va directamente a obras.

El rendimiento medio en barracas se ha estimado en un 75% en madera dimensionada y madera elaborada, por lo que restaría un 25% en residuos, sin utilización actual, en forma de aserrín, despuntes, virutas y otros, según el siguiente detalle:

	Volumen (miles m <sup>3</sup> )	Proporción (%)
Madera dimensionada	300	75
Residuos sólidos (despuntes, virutas)	60	15
Aserrín	40	10
Total	400	100

2.4 Resumen Estimación Cantidad de Residuos

Los residuos sin utilización actual que se han identificado y cuantificado preliminarmente, son los siguientes:

Proceso en que se generan	Tipo de Residuo	Volumen (miles de m <sup>3</sup> )
Explotación	Cópas, tocones, trozas quebradas	593,0
Transformación Primaria		
Exportación trozas		---
Aserrío	Corteza	35,6
	Aserrín	249,5
	Tapas, lampazos, des - puntas	661,9
Pulpa y papel	Lejía al sulfito	(100,0) (1)
Tableros y Chapas		---
Elaboración Primaria		
Barracas	Madera (despuntas, cantos, virutas)	60,0
	Aserrín	40,0
TOTAL		1.640,0

(1) 100.000 m<sup>3</sup> con 10% material sólido (10.000 ton.). No incluidos en el total por tratarse de residuos a los que se incorporó agua y productos químicos.

### 3. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS RESIDUOS

En los puntos anteriores se identificó y cuantificó preliminarmente los residuos de la producción forestal. Habrían materiales residuales, sin utilización actual, en la Explotación de plantaciones de Pino Insigne en el Aserrío, la Fabricación de Pulpa Al Sulfito y en la Elaboración Primaria en Barracas.

La distribución espacial de los residuos producto de la Explotación y del Aserrío será necesario estimarla a partir del consumo por Regiones, la ubicación de los principales industrias, la disponibilidad de plantaciones y otros elementos de juicio. La distribución de los residuos provenientes de la fabricación de papel de diarios y de las barracas es conocida.

La lejía al sulfito se produce en una fábrica ubicada en la VIII Región, específicamente en la planta Nacimiento de Industrias Forestales SA.

Los principales residuos de la elaboración primaria de la madera se producen en el Area Metropolitana ya que el 80% de las barracas se ubican en los barrios industriales de Santiago (más de 200 barracas).

#### 3.1. Distribución de Residuos por Región

El consumo de rollizos por los principales rubros de la industria de transformación primaria de la madera es, según Región, el siguiente:

Consumo de Rollizos de Pino Insigne  
Según Región 1982

Región	Trozas Exportación	Madera Aserrada	Pulpa (1)	Tableros y Chapas	Total
V		36.184			36.184
R.M.			8.124		8.124
VI		60.762			60.762
VII	85.715	358.738	782.758		1.227.211
VIII	802.738	1.378.163	1.924.139	186.635	4.291.675
IX	(-)	171.618		(-)	171.618
X	(-)	110.684	5.627	18.130	134.441
TOTAL	888.453	2.116.149	2.720.648	204.765	5.930.015

(INFOR, 1983)

(1) El consumo total es de 3.105.142 m<sup>3</sup> ssc, pero se han descontado 300.000 m<sup>3</sup> de astillas provenientes de aserraderos (VII y VIII Regiones) y un 3% del volumen consumo en pulpa química, correspondiente a madera de Eucalipto (VIII Región).

( ) Existe consumo de madera de otras especies, principalmente nativas.

Los residuos que permanecen en el bosque como producto de la explotación son los primeros que interesa ubicar según su distribución espacial, ya que en su cuantificación y ubicación influyen todos los rubros de la producción primaria.

Como se aprecia en el cuadro anterior; más del 70% del consumo total se produce en la VIII Región. Esto no significa que toda la corta de bosques para obastecer este consumo ocurra dentro de la Región, por el contrario la extracción de madera afecta fuertemente a las Regiones vecinas (VII y IX). A su vez, el consumo de la VII Región (Celulosa Constitución, Aserradero de Copihue) afecta a la VIII Región. Finalmente se debe agregar que la localización de los faenas de explotación es eminentemente variable, tanto durante el año como de un año a otro.

Por lo expuesto se ha considerado conveniente considerar por ahora, las Regiones VII, VIII y IX en conjunto, para los efectos de ubicación de los residuos de la explotación de plantaciones.

Las tres Regiones consumen en conjunto unos 5,7 millones de metros cúbicos sólidos sin corteza, lo que representa unos 570.000 metros cúbicos de residuos en el bosque.

Los residuos provenientes de la industria del aserrío se generan en un número variable de aserraderos con equipo astillador, principalmente en la VIII Región, y en un número aún más variable de aserraderos de menor tamaño, frecuentemente móviles, distribuidos en la zona central y sur del país.

Los aserraderos con astillador en sus líneas actualmente operando son 9, pero durante los últimos años han llegado a operar si multáneamente unas 20 instalaciones de importancia.

De los 9 aserraderos actualmente operando, 4 no generan residuos de importancia, ya que los aprovechan en la producción de energía. Los restantes son Madosal, Andinos, Leonera y P. Korach, en la VIII Región, que producen en conjunto unos 86.000 metros cúbicos aserrados, y Copihue en la VII Región, con unos 56.000 metros cúbicos aserrados.

La industria del aserrío ha variado fuertemente de acuerdo a las condiciones de mercado, prueba de ésto es que en los últimos 8 años el consumo de madera por ésta ho oscilado entre 2 y 4,6 millones de metros cúbicos.

Los aserraderos sin astillador, frecuentemente móviles y de baja capacidad instalada, que han llegado a operar simultáneamente, son más de 400. Resulta muy difícil poder ubicarlos geográficamente en forma estable, por lo que se los considerará ubicados dentro del conjunto de las Regiones VII, VIII y IX, proporcionalmente al consumo del rubro aserrío dentro de este conjunto y de acuerdo al consumo de cada Región para las restantes.

De acuerdo a lo anterior, la distribución de los residuos por Región sería la siguiente:

Residuo	Volumen (miles m <sup>3</sup> )						Total	
	V	R.M.	VI	VII	VIII	IX		X
En Bosque	3.6	0.8	6.1	-----	569.1	-----	13.4	593.0
En Industria								
Primaria								
A serrío c/as tillador								
Cortezo				14.0	21.6			35.6
A serrín				7.0	10.8			17.8
A serrío s/as tillador								
A serrín	6.0		10.0	-----	197.5	-----	18.2	231.7
Sólidos	17.0		28.6	-----	564.2	-----	52.1	661.9
Pulpa y Papel					100.0			100.0 (1)
En Barracas								
A serrín		40.0						40.0
Sólidos		60.0						60.0
Total	26.6	100,8	44,7	-----	1384.2	-----	83.7	1.640.0

(1) Se trata de lejía sulfítica con un 10% aproximadamente de contenido sólido. No se ha incluido en el total de 1.640.000 m<sup>3</sup>.

### 3.2. Estimaciones del Número y del Tamaño de las Empresas que Generan Los Residuos

La fuerte variación anual y estacional de la cantidad, capacidad y propiedad de las faenas que originan los residuos que quedan en los bosques hace particularmente difícil precisar el número y el tamaño de las empresas que las instalan y operan. Las estimaciones que siguen tratan de reflejar promedios anuales.

Aún cuando las empresas que figuran exportando trozas son menos, las que las producen oscilan en torno a unas 21 (Grupos Arauco, CMPC e INFORSA; 7 Consorcio, Madesal, Cholguán, 9 varias).

Los aserraderos entre la V y X Regiones que cortan Pino insigne han llegado a bordear los 1.400. Sin embargo, sólo unos 85 representan volúmenes de significado, los que pueden clasificarse en 17 grandes y unos 68 medianos y pequeños.

El abastecimiento de madera para la producción de pulpas mecánica y químicas involucran a las tres empresas propietarias de las fábricas y a unos 70 operadores independientes y forestadores.

La provisión de materia prima para la elaboración de tableros y chapas corresponde a 3 empresas productoras de ellos y a unos 20 pequeños productores.

Hay varias empresas que participan en dos o más de los cuatro grupos precedentes o que operan más de un aserradero, por lo que puede resumirse la participación en la generación de residuos en bosque como sigue:

EMPRESAS	Destino de Trozas extraídas del Bosque			
	Exp.	Aserr.	Pulpa	T. y Ch.
<u>4 Grandes:</u>				
Arauco	x	x	x	
CMPC	x	x	x	
INFORSA	x	x	x	
Cholguán	x	x		x
<u>14 Medianas:</u>				
MADESAL	x	x		
C. Bío-Bío		x	x	
Carampangue	x	x	x	
7 Consorcio	x	x	x	
Korach		x	x	
Copihue	x	x	x	
Vista Alegre		x	x	x
MASISA		x		x
<u>100 Pequeñas:</u>	x	x	x	x
<u>118 Empresas</u>	x	x	x	x

La industria primaria, por su parte, es responsable a través de los aserraderos de un gran volumen de residuos. La nómina de empresas con aserraderos en trabajo y su clasificación por tamaño se indica a continuación:

<u>TIPO DE EMPRESA</u>	<u>EMPRESA</u>
<u>Grande :</u>	CMPC INFORSA Cholguán
<u>Mediana:</u>	MADESAL C. Bío-Bío Carampangue 7 Consorcio Korach Copihue Vista Alegre MASISA
<u>Pequeñas :</u>	60 empresas
<hr/> TODAS	<hr/> 77 empresas

La lejía sulfítica es un residuo específico de la fábrica de celulosa que INFORSA tiene en Ilaquimilmo.

Finalmente, las barracas del Area Metropolitana son muy numerosas, alrededor de 200. Unas 10 pertenecen a empresas de tamaño mediano, unas 40 a otras de pequeña dimensión, en tanto que las restantes 150 carecen de importancia en su volumen de operaciones.

Como se ha observado, también hay una superposición de propiedad entre las operaciones forestales y la industria primaria, e incluso en algún caso, las barracas. De ahí que en el resumen siguiente los totales no correspondan a la suma de los parciales:

GENERACION DE RESIDUOS	TAMAÑO DE LAS EMPRESAS			
	Grande	Mediano	Pequeño	Total
En bosque	4	14	100	118
Industria primaria	3	14	60	77
Legía Sulfítica	1	-	-	1
Barracas R.M.	-	10	50	60
<b>T O T A L</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>130</b>	<b>156</b>

#### 4. RESIDUOS DE INTERES

##### 4.1. Identificación de Residuos de Interés

De los residuos cuantificados en el cuadro de página 20, sólo uno deriva de operaciones químicas: la legía sulfúrica. No parece de interés considerarla puesto que es una solución residual de una sola fábrica, y por lo tanto problema de eliminación y perspectiva de empleo únicamente de ella.

Todos los restantes residuos, consecuencia de operaciones mecánicas, son potencialmente interesantes. Sin embargo, la baja relación de peso a volumen y el alto contenido de agua que muestran sin excepción significan que el costo de su eventual flete es decisivo en la economía de cualquier uso que quiera dárseles. Ello se ve agravado en Chile por el hecho de que en el área donde se generan en mayor proporción se concentra también gran parte de la producción nacional de carbón de piedra, que proporcionalmente se recarga menos con el transporte.

Por otra parte, algo más del 90% de los residuos aparecen como consecuencia de operaciones no ligadas a ubicaciones determinadas, sino por el contrario a explotaciones de bosques y de aserraderos que periódicamente se trasladan.

Resulta así que, si bien todos los residuos mecánicos de la madera pueden encontrar usos atractivos, una proporción variable en el tiempo quedará fuera del horizonte económico del mercado.

#### 4.2. Formas de Utilización o Eliminación en el País

La lejía sulfítica es esporádicamente utilizada para estabilizar caminos forestales de tierra, ya que su alto contenido de grandes moléculas ligno sulfónicas tiene un efecto ligante de las partículas arcillosas. Sin embargo, lo normal es que sea descargada a los desagües, contaminando los cursos de agua.

También es habitual que los residuos de explotación del bosque sean quemados sobre el terreno con el objeto de despejarlo para su replante, y para evitar el peligro de posteriores incendios incontrolados. Sólo en los últimos dos años se han iniciado en escala muy limitada intentos para obtener de ellos astillas para la producción de energía.

Si bien es cierto que la quema controlada de los restos de explotación deja el suelo limpio, produce también la pérdida del mantillo orgánico superficial y extermina la vida hasta varios centímetros de profundidad. Al mismo tiempo se lanza a la atmósfera considerables volúmenes de anhídrido carbónico y de cenizas. Todos estos efectos indeseables son inevitables cuando se usa del fuego a campo abierto.

La gran mayoría de los aserraderos descarga sus desechos de aserrín, corteza y madera en pilas donde quedan abandonados. Esta práctica se generalizó cuando hace unos 20 años los motores a petróleo sustituyeron a las antiguas máquinas a vapor ("locomóviles"). Subsisten, no obstante, algunas de éstas, que son alimentadas con los desperdicios sólidos del aserrado, y hay también algunos aserraderos fijos que consumen incluso aserrín para la generación de energía. En

algunos casos, éstos pueden vender los excedentes a fábricas de pulpa o papel cercanas.

En lo que se refiere a las barracas, tienen cierta demanda de aserrín y despuntes para calefacción y cocina domésticas. El rápido incremento de los precios del kerosene ("parafina"), el gas licuado y la electricidad están impulsando el uso de aquellos combustibles, y algunas barracas están hoy saliendo por esta vía de todos sus desechos, e incluso percibiendo ingresos por ellos. Las restantes tienen que evacuar a basurales especialmente el aserrín, con desembolsos moderados.

## 5. SELECCION DE TECNOLOGIAS

Para una debida selección de medios eficaces de utilización de los residuos de interés se ha pasado revista al estado actual de las tecnologías en los siguientes rubros:

### RECURSO ENERGETICO

- Madera y corteza en sus diversas formas naturales
- Madera y corteza densificadas
- Carbón vegetal
- Gases combustibles
- Líquidos combustibles
- Sólidos combustibles (madera y corteza modificados)

### FUENTE DE FIBRAS

- Para pulpas
- Para tableros

### MATERIA PRIMA DE PRODUCTOS QUIMICOS Y BIOQUIMICOS

- Destilación seca
- Fusión alcalina
- Sacarificación
- Síntesis de metanol
- Digestibilización

Los breves comentarios que siguen sólo pretenden apuntar hacia las ventajas e inconvenientes que, de modo general, se han encontrado hasta hoy en las diversas vías de empleo y en los equipos propuestos para ello.

### 5.1. Recurso Energético

La madera y corteza ya sea en trozas o piezas de buen tamaño, o como astillas, aserrín o partículas de tamaño variable, es el combustible que el hombre ha utilizado desde que logró capturar el fuego, y ciertamente el más importante hasta mediados del siglo pasado. Su empleo hoy está limitado por el costo del flete y por su contenido de agua, pero es de gran interés en ubicaciones propicias y con equipos adecuados.

Justamente para reducir el costo de flete y de manejo se han intentado diversos sistemas tecnológicos. Uno de ellos es la "densificación" de los residuos - en este caso, esencialmente astillas, aserrín y corteza desmenuzada -. La necesidad de que su contenido de humedad se haya reducido a menos de 24 % (base seca) para que las briquetas o "pellets" no se desintegren limita severamente su interés.

La carbonización de trozos de madera y corteza, practicada por siglos, reduce su peso a un 20 - 30 % y la humedad a menos del 10%. Hornos de operación discontinua operan en todas partes del mundo, y se ofrecen algunos de trabajo continuo aún no bien probados. Para desechos finos, como aserrín, o desmenuzados, como astillas, tampoco hay equipos de indiscutible buen resultado.

La gasificación de la madera por combustión parcial controlada en "gasógenos" se ha ocupado en la propulsión de vehículos, para generar energía eléctrica y mecánica, y vapor. Limita también este uso la condición necesaria de una madera con menos de 24 % de contenido de humedad, y que la tecnología hasta aquí desarrollada es para trabajo en escala limitada y discontinua.

Aceites de madera, y formas modificadas sólidas de ésta, se encuentran en fases variables de progreso tecnológico, pero lejos aún de ofrecer aplicaciones probadamente seguras.

## 5.2. Fuente de Fibras

Los residuos en el bosque difícilmente pueden ser descortezados, por lo que su empleo en la producción de pulpas y tableros se limita a los casos en que ello es aceptable. El mayor costo de recolección y transporte limitará siempre, sin embargo, esta aplicación a un radio relativamente pequeño en torno a la fábrica usuaria.

El aserrín puede ser aceptado por las fábricas de pulpa y tableros, en proporciones que varían con su equipamiento.

La corteza definitivamente no produce fibras y en cambio consume reactivos, razones por las cuales es rechazado por las fábricas de pulpa y aceptado en proporciones bajas por las de tableros.

## 5.3. Materia Prima de Productos Químicos y Bioquímicos

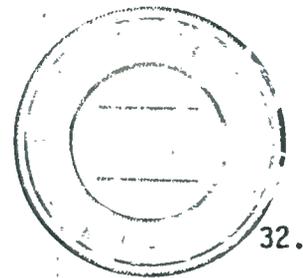
La "destilación seca" de la madera y corteza, es decir su calefacción sin admisión de aire, produce carbón vegetal, ácido "piroleñoso" y gases combustibles. El ácido contiene ácido acético, alcohol metílico, acetona, y una gran cantidad de otros compuestos orgánicos simples y complejos, parte de los cuales se separan como un "alquitrán de madera". Este proceso, conocido hace muchos años, desapareció de la industria ante la competencia del metanol y ácido acético sintéticos, pero hoy vuelve a parecer promisorio en determinadas condiciones.

Por fusión de soda cáustica con aserrín se obtiene ácido oxálico y otros compuestos orgánicos. El proceso no ha llegado a utilizarse industrialmente.

La sacarificación de la madera intenta reducir su contenido de celulosa a una solución de glucosa, la que por fermentación se transforma en alcohol etílico, o puede ser substrato de desarrollo de levaduras para forraje. A pesar de los esfuerzos de investigación realizados ya por más de 50 años la tecnología aún no está a punto para su aplicación económica.

Metanol puede obtenerse no sólo por destilación seca de la madera, sino también por síntesis a base de los productos de su gasificación. El procedimiento tecnológico es bien conocido, pero no se ha logrado hacerlo competitivo todavía.

La posibilidad de que la celulosa contenida en la madera pueda ser digerida por los animales rumiantes, muy fuertemente limitada por la estructura de sus regiones cristalinas y por la protección que le brinda la lignina asociada con ella, está siendo intentada por diversos medios que aún están en sus primeras etapas experimentales.



## 6. CARTILLAS CON TECNOLOGIAS PROMISORIAS

### 6.1. Tecnologías Promisorias Probadas en el País

#### 6.1.1. Energía Térmica Industrial.

##### Características del Residuo por Utilizar.

Todo tipo de residuos de bosque y de industrias primarias, es decir, trozas quebradas, productos de raleo, ramas y hojas, aserrín, despuntes, etc. incluyendo corteza puede ser utilizado con la sola condición de que su manejo sea facilitado por un tamaño máximo determinado. Su contenido de humedad puede ser alto, hasta un 65% base húmedad.

##### Descripción del Proceso.

El proceso consiste en quemar el combustible en un hogar donde se realizan sucesivamente las siguientes etapas:

- Secado, en que la corteza y la madera pierden su contenido de agua;
- Carbonización y posterior combustión del carbón, con desprendimiento de gases combustibles, lo que requiere aporte de aire (primario).
- Combustión de los gases desprendidos, lo que ocurre en la parte superior del hogar o en una segunda cámara con el aporte de aire suplementario (secundario).

### Equipos e Instalaciones Requeridas.

A continuación se señalan 3 tipos básicos de hogares que permiten quemar los residuos leñosos que en cada caso se indican.

#### - Hogar holandés (Dutch oven).

Su construcción se esquematiza en Gráfico 1. El combustible, cuya dimensión máxima no debe exceder de los 10 centímetros, es alimentado de un agujero en el centro del techo del hogar, de manera tal que formará una pila cónica sobre la parrilla. El aire primario es admitido a través de la parrilla, la que en general se compone de barrotes de Fierro Fundido. Aire secundario ingresa por aberturas existentes en la pared frontal. La combustión es, entonces, más activa en los bordes de la pila y en el frente del hogar, calentando las paredes refractarias. El calor radiante que éstas emiten calienta a su vez el combustible fresco, secándolo y destilándolo. La combustión no es completa en esta cámara principal, por lo que es conveniente disponer una cámara de combustión complementaria, de paredes generalmente refrigeradas por agua.

Los gases calientes generados en el hogar descrito arriba pueden ser empleados en calefacción directa (secadores) o en calderas para la producción de vapor o agua caliente.

La carga de este tipo de hogares puede ser fácilmente automatizada, sobre todo si el combustible es de tamaño más o menos regular como es el caso de astillas y aserrín. El aserrín debe ser mezclado con astillas, ya que este hogar no lo puede quemar solo. Sin embargo, el hogar holandés puede ser alimentado a mano con combustible de tamaños mayores a través de una puerta frontal.

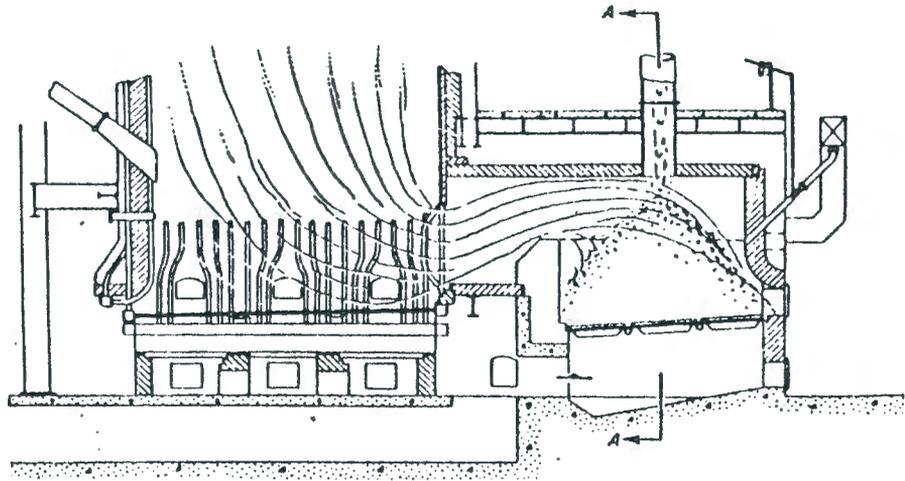
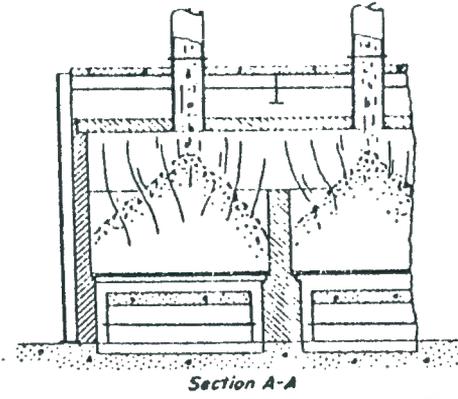


GRAFICO 1. HOGAR HOLANDES CON PARRILLA

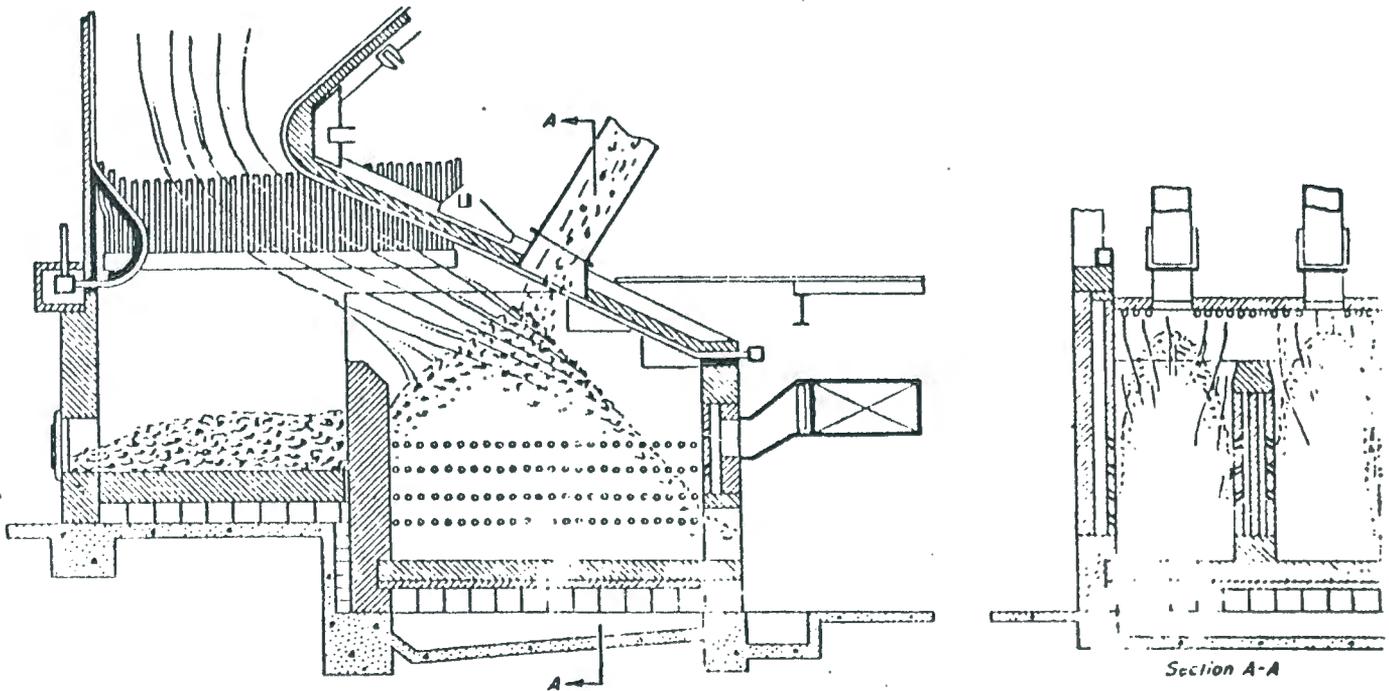


GRAFICO 2. HOGAR HOLANDES SIN PARRILLA

En ocasiones el hogar holandés no tiene parrilla, y la combustión ocurre directamente sobre el piso refractorio. (Gráfico 2).

- Hogar de parrilla escalonada (Step grate).

Consiste en una cámara de paredes refractarias con un emparrillado formado por piezas de fierro fundido colocadas como gradas de una escalera, al pie del cual hay otro horizontal. Los escalones están a unos 10 centímetros unos de otros, y la pendiente varía entre unos  $35^\circ$  y  $45^\circ$ . El combustible es alimentado a todo lo ancho de la parrilla inclinada por su parte superior. Al perder humedad va descendiendo mientras el aire primario penetra por entre los escalones. Hacia la mitad de su recorrido la combustión ya es activa, la cual viene a completarse en la sección horizontal de la parrilla. El aire secundario es admitido por agujeros existentes en las paredes laterales.

También en este caso la carga de combustible puede ser automática, ocupando una tolva alimentada por correa transportadora o un tornillo sinfn. En este caso es posible que mar incluso aserrfn como único combustible, incluso el proveniente de aserradero, que tiene una alta proporción de agua.

- Hogar de alimentación Inferior (underfeed stocker).

Este sistema admite variantes, pero en lo esencial consiste en una cámara de paredes refractarias por cuyo piso se introduce el combustible mediante un transportador de tornillo que lo fuerza a emerger a través del material en com bustión. En general su emparrillado es cónico, con una apertura central por donde sube el combustible, que luego se de-

LISTA DE ITEMS

- 6 Tolva de alimentación
- 7 Alimentador de tornillo
- 8 Zona de presecado del combustible
- 9 Quemador principal
- 12 Caldera
- 13 Zona de caída de partículas no quemadas
- 14 Separación de polvos
- 15 Reingreso de polvos
- 17 Ventilador de tiro forzado
- 18 Chimenea
- 19 Sistema de evacuación de cenizas

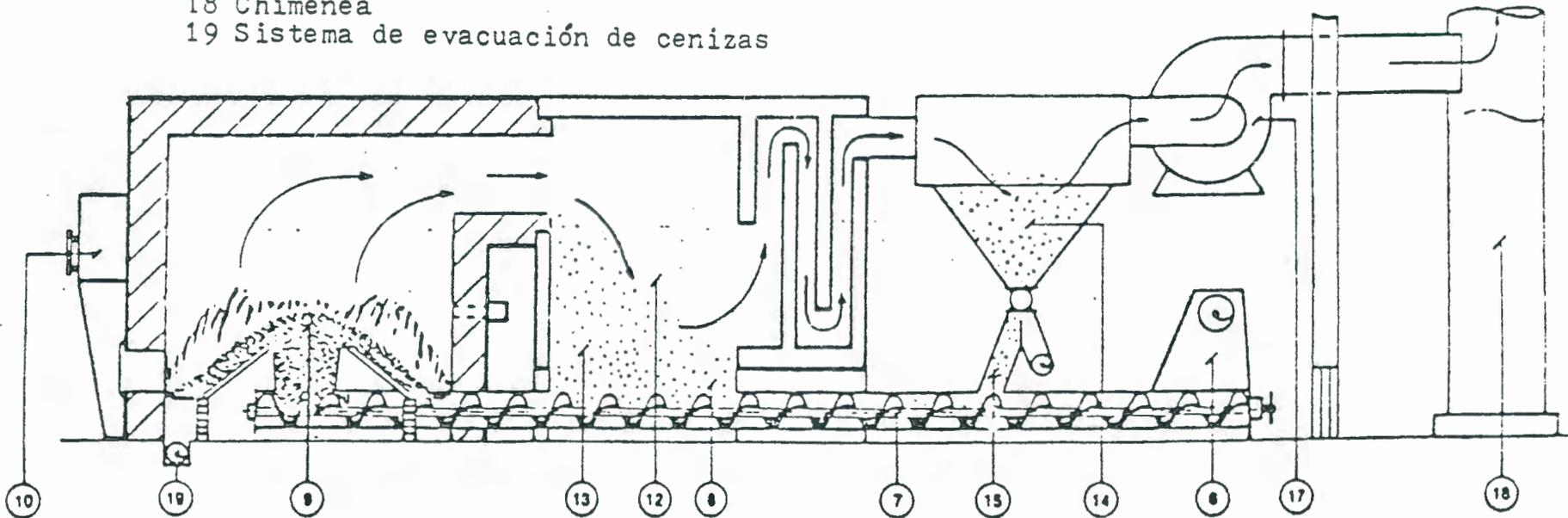


GRAFICO 3. HOGAR DE ALIMENTACION INFERIOR

rama hacia los costados. El Gráfico 3 esquematiza una instalación muy eficaz, que tiene una cámara secundaria con que a la vez se obtiene un presecado del combustible.

Cabe hacer notar que este sistema permite usar aserrín, virutas, corteza, astillas y despuntes de hasta 10 centímetros, con contenidos de agua hasta 65% (base húmeda).

- La eficiencia térmica de estos hogares expresada como el calor entregado dividido por el contenido calórico del combustible, fluctúa entre 0,65 y 0,80, dependiendo del diseño más o menos acertado en cada caso. Esta combustión directa en los residuos es la mejor vía de aprovechamiento del contenido calórico de estos materiales, ya que cualquier transformación (carbonización, gasificación, hidrólisis, etc.) implica rendimientos reducidos notablemente.

En lo que a las capacidades se refiere, se construyen equipos con capacidades para quemar desde decenas de kilos hasta sobre 4 toneladas de combustible por hora, cifra esta última que corresponde a una producción de vapor de más 12 toneladas por hora. En la industria de la pulpa y el papel esta cifra es largamente sobrepasada.

El empleo de combustibles leñosos implica el consumo de energía eléctrica requerida para el accionamiento de ventiladores para el suministro del aire de combustión y transporte de los gases. Este consumo puede reducirse mediante el empleo de chimeneas altas que produzcan un tiraje natural.

### Casos de Aplicación en Chile.

Los quemadores holandeses son de frecuente uso, sobre todo en industrias de pequeño a regular tamaño (aunque es común que sean alimentados con leña y no con desperdicios). No obstante, la técnica de su construcción suele ser bastante rudimentaria, puesto que en general carecen de introducción de aire secundario; por lo cual su capacidad y su eficiencia están por debajo de lo que corresponde a su tamaño.

Los hogares de parrilla escalonada son de muy difundido empleo hoy en la VIII Región, alimentados en su mayor parte con aserrín proveniente de aserraderos y utilizados como antehogares para calderas originalmente a petróleo, con excelentes resultados tanto en capacidad como en rendimiento. En los años recientes se han transformado más de 100 calderas, desde industrias y hospitales hasta calefacción de edificios, con rebajas en el costo de combustibles hasta de un 70%.

Existe una instalación de hogar de alimentación inferior, también en la VIII Región, que se emplea para generar agua caliente a base esencialmente de aserrín de aserradero, que trabaja con notable limpieza y efectividad, demandando mínimos gastos de mantención.

Globalmente, los usuarios potenciales temen que, al transformar sus instalaciones para sustituir el petróleo por combustibles leñosos, estén asumiendo un alto riesgo de paralización por falta de abastecimiento. Este riesgo es cada día menor, a medida que aumenta el número de instalaciones consumidoras y, paralelamente, de proveedoras.

Fuentes de Apoyo Tecnológico

Fundación Chile

Barros Asenjo, Consultores Forestales e Industriales.

### 6.1.2. Calefacción con Aserrín

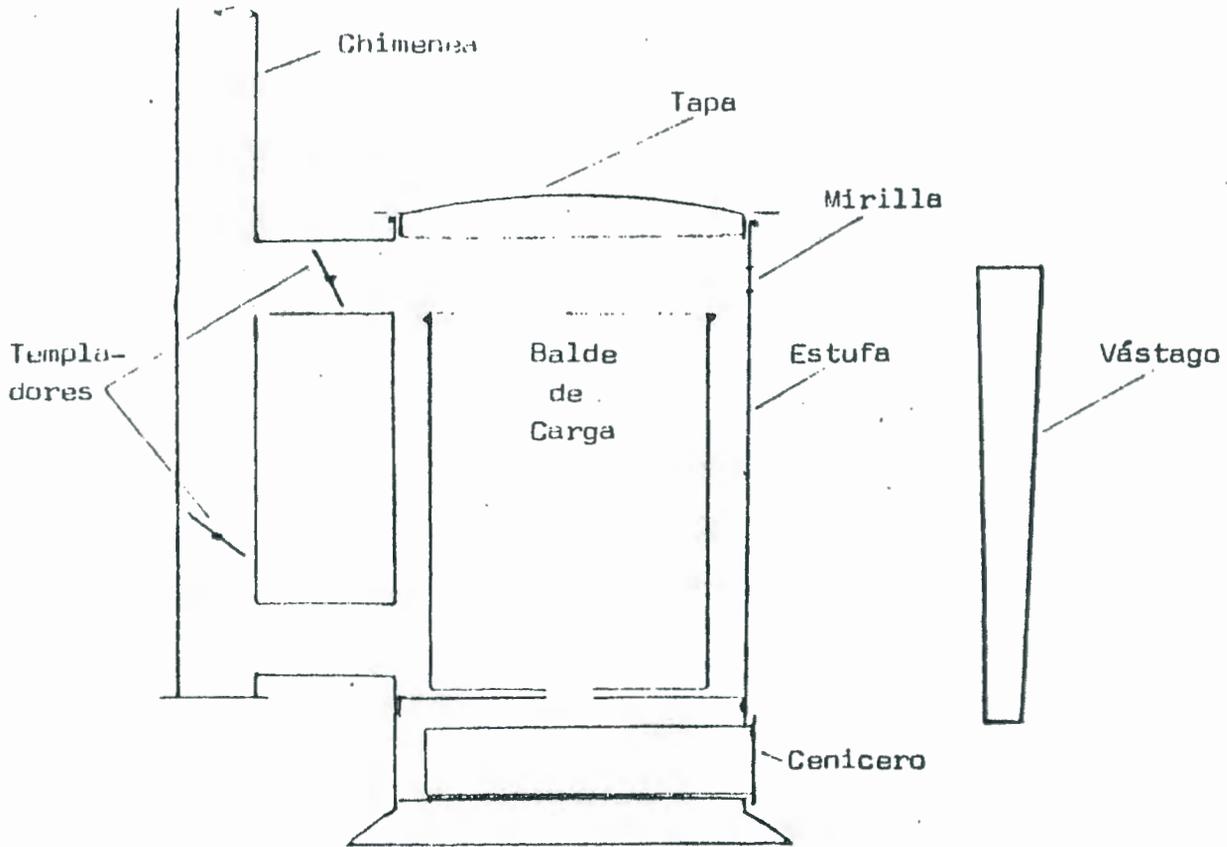
#### Características del Residuo por Utilizar

Este tipo de estufa quema aserrín grueso o fino con un contenido de humedad que puede variar entre un 20 y un 60% aproximadamente. El aserrín que se produce en barracas urbanas da un excelente resultado, debiéndosele humedecer cuando está excesivamente seco a fin de que se pueda comprimir bien y que no queme demasiado rápidamente.

#### Descripción del Proceso

En el balde de carga (ver Gráfico) se coloca verticalmente el vástago tronco-cónico de lata o madera, de manera que obture el agujero que hay en su base. A continuación se lo llena de aserrín, que se comprime con las manos o con un taco de madera hasta conseguir que tome consistencia. Se coloca el balde dentro de la estufa, aprovechando el extremo saliente del vástago por la base del balde para centrarlo en el agujero que hay en su fondo. Se retira a continuación el vástago, cuidando no derrumbar los costados de la chimenea central que ha formado en el aserrín, y se coloca la tapa a la estufa.

Para encender la estufa se abren completamente los dos "Templadores" (reguladores de tiraje) es decir, se ponen sus manillas horizontales, se colocan algunos papeles arrugados en el cenicero, se les da fuego y se corre el cenicero hacia adentro dejándolo un poco abierto (1 a 2 centímetros). Las llamas al salir por la chimenea formada en el aserrín lo encienden, lo que puede observarse por la mirilla de mica. Cuan



ESCALA 1:10

Ejecución : Plancha de Fierro de 0,8 mm de espesor.

Gráfico 1. Estufa de Aserrín.

do el fuego empieza a cobrar fuerza, se cierra bien el cenicero y también, gradualmente, el templador superior. Cuando éste se ha cerrado por completo, se puede regular el inferior. Si la estufa tendiera a apagarse conviene volver a abrir los reguladores de tiraje hasta que el fuego se haya regularizado por completo.

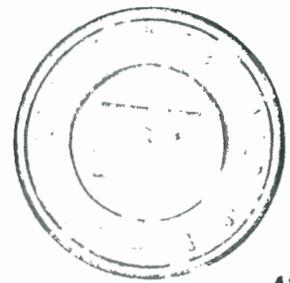
En una estufa grande, como la que describe el plano adjunto, la carga de aserrín es de unos 12 kilogramos y dura más de 10 horas dando un calor parejo.

El residuo que queda principalmente en el cenicero es de apenas 50 a 100 gramos de ceniza que, por lo demás, puede usarse como fertilizante en el jardín, ya que tiene un buen contenido de Potasio.

#### Equipos e Instalaciones Requeridos

La estufa puede ser redonda o cuadrada, de plancha de fierro solamente, o con partes de fierro fundido. Se la fabrica en tamaños y modelos variados. El plano representa uno de ellos, de económico precio y comprobada eficiencia.

La chimenea que evacúa los humos puede ser sencilla o, para aprovechar aún mejor el calor, tener un radiador. De cualquier manera, debe ser cuidadosamente aislada al pasar entre pisos y desde el cielo raso al techo, para evitar todo peligro de incendio por recalentamiento de estructuras combustibles.



### Casos de Aplicación en Chile

Como consecuencia del incremento de precios de los derivados del petróleo y de la energía eléctrica, se está difundiendo mucho el uso de estufas de aserrín, que hoy se encuentran profusamente desde Santiago al Sur.

Con una adecuada instalación no presentan prácticamente riesgos, ya que en caso de empezar a recalentarse el cierre de los reguladores de tiraje reduce de inmediato el ritmo de la combustión. Son, sin embargo, de reacción lenta si se las compara con las a gas o kerosene y, sobre todo, las eléctricas.

### Fuentes de Apoyo Tecnológico

Fundación Chile.

#### 6.1.3. Carbón Vegetal

##### Características del Residuo por Utilizar.

Aunque la dureza y calidad del carbón vegetal depende en buena medida de la madera que lo origina, casi cualquier madera puede dar uno apropiado para usos domésticos.

Los residuos del bosque deben cortarse en trozas de unos 30 a 60 centímetros de largo, y hasta 30 centímetros de diámetro. Piezas más gruesas conviene rajarlas. También pueden ocuparse residuos en piezas de aserraderos, de largos similares.

A fin de que los residuos pierdan parte de su contenido de agua, es aconsejable recolectarlos no menos de un mes después de que se hayan producido: La madera verde se carboniza con mayor lentitud que la seca, con un rendimiento inferior en peso y en calidad.

#### Descripción del Proceso.

Para la instalación del horno (ver Gráficos 1 al 4) se escoge un lugar seco y llano, que debe limpiarse de vegetación, piedras, etc. en un círculo de unos 3 metros de diámetro. Clavando una estaca aproximadamente en su centro se traza con la ayuda de un cordel un círculo de 135 centímetros de radio, que se divide en 8 partes iguales. En esta base se colocan los 8 canales de ventilación, con sus tubos de ventilación sobre el círculo y sus bocas sin tapadera dirigida al centro, cada uno sobre una de las líneas que dividieron el círculo. Sobre ellos se pone el cuerpo inferior del horno, de manera que las caras internas de los tubos de ventilación disten por lo menos 15 centímetros de él.

Un buen resultado de la operación de carbonización depende, además de la humedad de la madera, de la precisión con que se la coloca en la base del horno. Entre los canales se colocan trozas radialmente desde el centro hasta la pared del horno (ver Sector B del Gráfico 3). Entre ellos se disponen astillas secas, papeles, ramas secas y otros materiales de fácil combustión, desde el centro hasta unos 30 centímetros de la pared del horno (ver Sector C del Gráfico 3). Después se pone transversalmente sobre los largueros y los canales de ventilación una capa de trozas (Sector D, Gráfico 3), y sobre

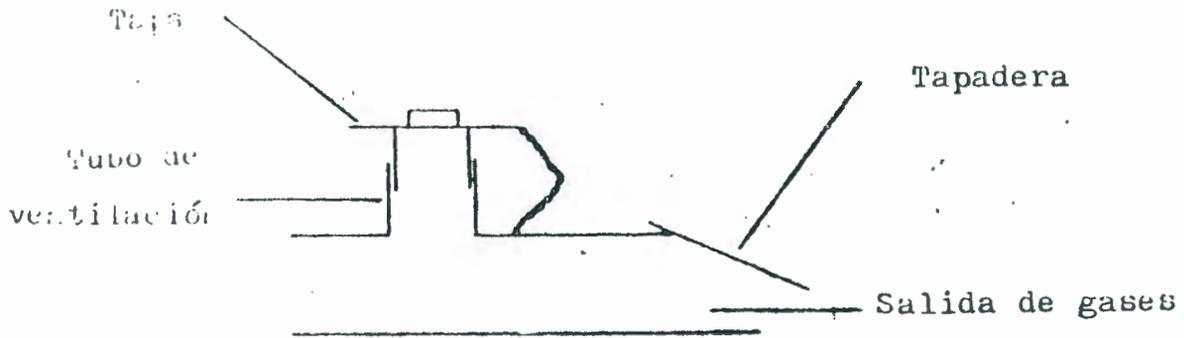


Gráfico 1. Diagrama de un canal de ventilación

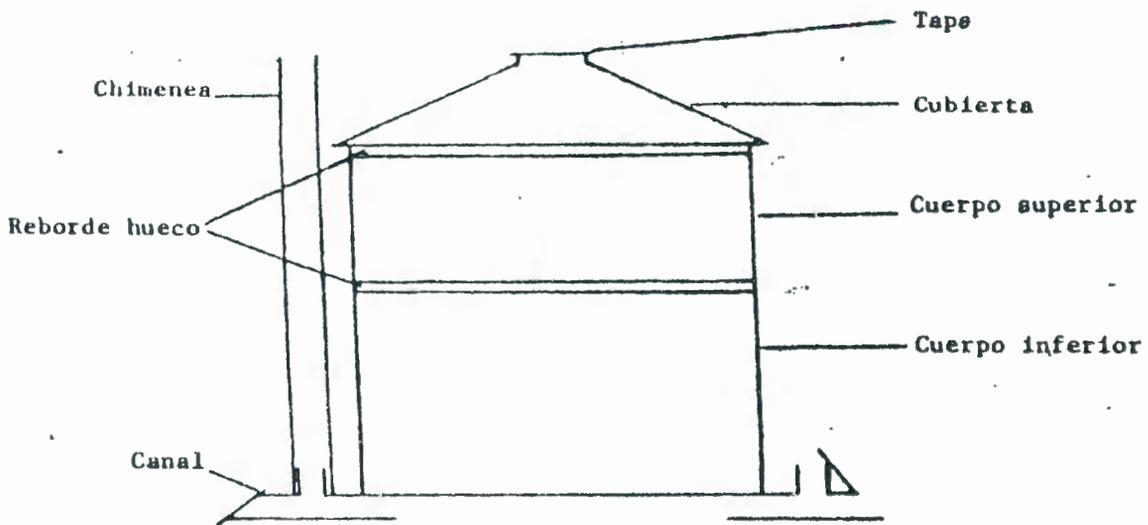


Gráfico 2. Diagrama de un horno, con sus componentes

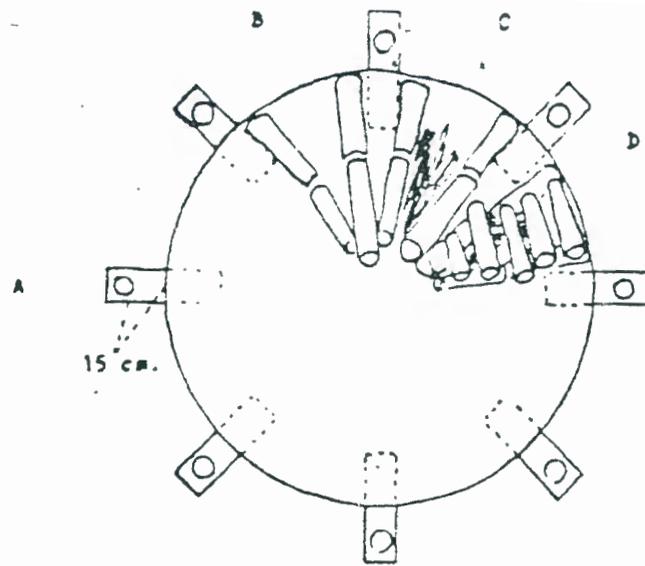


Gráfico 3. Diagrama de las etapas de carga

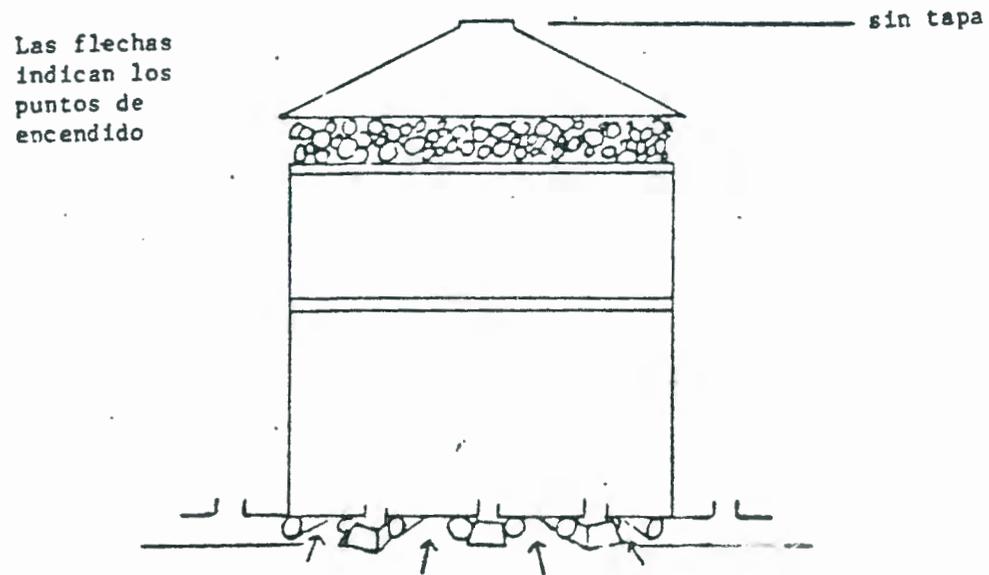


Gráfico 4. Diagrama del horno al ser encendido

las astillas se vierte petróleo, aceite quemado o kerosene para facilitar el encendido del horno. A continuación, si la madera se ha cortado al tamaño recomendado, se puede llenar el cuerpo inferior del horno sin precauciones especiales salvo la de evitar inútiles espacios vacíos. El borde superior hueco del cuerpo inferior se llena entonces de arena y sobre él se coloca el cuerpo superior. Se continúa llenando de madera el horno hasta formar un montón cónico con inclinación similar a la de la cubierta, que sobrepase unos 10 centímetros al borde del cuerpo superior, que se llena de arena. Finalmente, se coloca la cubierta, sin tapa, sobre la madera, procurando que su borde inferior se proyecte sobre el superior del horno (ver Gráfico 4).

Para el encendido se abren todas las tapaderas y tapas de los canales de ventilación, y se encienden los 8 puntos donde se colocaron las astillas secas, ojalá remojadas con combustible líquido. Si todo se ha hecho bien, enseguida saldrá humo abundante por el centro sin tapa y la periferia con trozas a la vista. Se tapan entonces con arena o con tierra los espacios entre los canales de ventilación, cuidando que sus tapas y tapaderas queden libres. Al cabo de media a una hora la carga habrá descendido tanto como para permitir que la cubierta, quizás con ayuda, encaje sobre el cuerpo del horno. Entonces se procede a colocar 4 chimeneas sobre 4 tubos de ventilación alternados, cerrar las 8 tapaderas de los canales, y poner en su sitio la tapa superior. Así el aire ingresará por los 4 tubos de ventilación abiertos y, luego de circular por el horno, salir por las 4 chimeneas.

La práctica es fundamental en las operaciones siguientes. Si de todas las chimeneas sale un humo blanco y espeso, el horno está funcionando correctamente. Si en alguno sale más lento (a causa de la falta de aire) pueden abrirse las tapaderas de los canales de ventilación a ambos costados de ella. Si ello no fuera suficiente habría que quitar tierra o arena de los puntos de encendido adyacentes a la chimenea durante 5 a 10 minutos, tapándolos luego. Después de 8 a 10 horas todas las 4 chimeneas se trasladan a los tubos de ventilación a su izquierda, de manera que se invierten entradas y salidas de aire y se impide la acumulación de una excesiva cantidad de ceniza en las entradas.

Cuando la carbonización llega a su fin deja de salir humo, o sale poco y transparente. Se "cierra" ahí el horno, quitando las chimeneas, cerrando todas las tapaderas y colocando todas las tapas, y echando tierra o arena en cualquier punto por donde pudiera penetrar aire.

#### Insumos y Coeficientes Técnicos.

Las operaciones de montaje, carga y encendido del horno requieren, en promedio, de dos hombres durante dos horas; la carbonización toma de 16 a 24 horas; y el enfriamiento, de 8 a 12 horas. Se puede contar, entonces, con 12 ciclos mensuales en promedio que consumirán unos 72 metros cúbicos apilados de trozas y rendirán, según la madera que se emplee, alrededor de 5 toneladas de carbón vegetal. Los hornos se deprecian totalmente en 3 años, y su operación requiere de la atención de un operario (2 obreros pueden hacer funcionar dos hornos).

Algunos coeficientes del proceso son los siguientes:

**Rendimiento:**

En peso	20 a 30 % sobre el peso de la madera seca.
En volumen	Un 50 % del volumen de la madera.
Granulometría	75 a 90 % del rendimiento sobre 2,5 centímetros.

**Equipos requeridos.**

El horno, representado con sus accesorios en los Gráficos 1 y 2, está basado en el principio de carbonización por corriente descendente y tiene características de simplicidad, robustez y duración que lo hacen único. La rapidez y control de su operación son también sobresalientes.

Se compone de dos cuerpos cilíndricos, de 91 y 76 centímetros de altura respectivamente el inferior y el superior, rematados arriba en un canal en el que se puede empotrar el siguiente, y una cubierta tronco-cónica de 46 centímetros de alto con una abertura central y su tapa. Estas partes se arman sobre 8 canales de ventilación de sección rectangular (9 por 15 centímetros) y 70 centímetros de largo, provistos de una tapadera en su extremo inclinado externo y de un tubo de ventilación con tapa en su parte superior. A estos tubos, sacándoles la tapa, se puede adosar chimeneas de 10 centímetros de diámetro y 230 centímetros de altura.

El horno mismo es de acero de 5 a 6 milímetros de espesor y las chimeneas de acero galvanizado. Con resultados inferiores se puede usar fierro laminado.

#### Características del Producto Final y su Utilización.

La densidad de la madera empleada es un factor determinante de la dureza del carbón vegetal obtenido.

En el país los más apreciados son el de Espino y el de Litre, que no se rompen con facilidad, arden bien y sus brasas continúan desprendiendo calor por bastante tiempo. Como de segunda calidad se califican el de Eucalipto y especies nativas corrientes. En una categoría inferior se considera al de Pino, que muy a menudo se comercializa mezclado con el de especies chilenas. Sin embargo, este carbón de Pino que arde rápidamente es satisfactorio para muchos usos (desde luego los domésticos).

Algunas características del carbón vegetal se consignan enseguida:

#### Peso Específico:

Aparente	0,2 a 0,5 ton/m <sup>3</sup>
Real	1,3 a 1,5 "
Superficie Específica	1,0 a 2,0 m <sup>2</sup> /g
Dureza	variable según madera de origen

Estabilidad (1) Inerte, acondicionado  
24 horas

Composición:

Carbono	80 a 90 %
Sust. volátiles	7 a 30 %
Humedad	1 a 10 %
Azufre	Trazas
Fósforo	Trazas
Cenizas (2)	0,5 a 10 %
Poder calorífico	7.100 k.cal/kg

Muy variados son los usos que se puede dar al carbón vegetal, pero seguramente el más importante es el de combustible doméstico e industrial.

El carbón de madera es un combustible ideal para las áreas urbanas porque no produce humo ni anhídrido sulfuroso, se maneja con facilidad, y una vez encendido arde con regularidad y seguridad. Sólo hay que asegurarse que haya una libre circulación de aire, ya que en un ambiente cerrado fácil-

---

(1) Aunque es bastante inerte, el carbón vegetal absorbe con rapidez Oxígeno pocas horas después de haberse formado en el horno. De ahí que sea aconsejable adoptar precauciones para evitar su combustión espontánea durante las 24 horas siguientes a la carbonización.

(2) El carbón de corteza tiene normalmente un contenido de cenizas mucho más alto que el de la madera de la misma especie.

mente se genera Monóxido de Carbono, gas sin color ni olor muy venenoso. Este peligro se suele presentar en el uso de braseros mal encendidos y colocados en piezas sin ventilación.

Actualmente el carbón vegetal es muy apreciado por los sectores más modestos de la población, desde el Area Metropolitana hasta la IX Región, a pesar de que en su proceso de comercialización se encarece desmedidamente. (Se ha comprobado que el precio a orilla de horno se multiplica por 8 a 12 al llegar al pequeño consumidor). Las familias acomodadas lo emplean en "parrilladas" y asados, adquiriéndolo por lo general en envases de plástico o papel a elevado precio.

No se conocen usos hoy como combustible industrial en el país, a pesar de que potencialmente podría encontrar un lugar ventajoso en la producción de cal y cemento, y en el secado de productos agrícolas.

El carbón vegetal es fuertemente reductor, por lo que se lo usa en la metalurgia del Cobre, y puede reemplazar con ventajas al coke en los altos hornos que tratan el mineral de Fierro.

Otras aplicaciones del carbón vegetal se encuentran en las industrias de pigmentos para tintas de imprenta y pinturas, de pólvoras y fuegos artificiales, de plásticos, de neumáticos y cámaras, y química en general.

Eventualmente el carbón vegetal puede densificarse transformándolo en briquetas de almacenamiento y transporte más barato y limpio.

Mención aparte merece el carbón activado, que es un tipo de carbón vegetal en que un fuerte aumento de su superficie específica (de 1 - 2 m<sup>2</sup>/g a 300 - 2.000 m<sup>2</sup>/g) multiplica la capacidad de adsorción de gases y líquidos. Los procesos de transformación de un carbón vegetal en carbón activado no son complicados, y abren un enorme abanico de posibles usos industriales en la decoloración de azúcar, purificación de aguas, clarificación de solventes orgánicos, purificación y separación de gases, etc., etc.

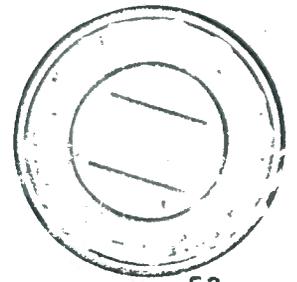
#### Casos de Aplicación en Chile.

Miles de hornos de carbón vegetal, en su casi totalidad de tipo primitivo, son operados continuamente o esporádicamente desde la zona Central hasta el Sur del país. El horno aquí recomendado ha sido llamado "Mark V", descrito en un informe sobre el Carbón Vegetal (D. E. Earl, F.A.O., Roma, 1975) y experimentado en la VIII Región por CIDERE Bfo-Bfo. Su empleo no parece tener sino ventajas.

#### Fuentes de Apoyo Tecnológico.

CIDERE Bfo-Bfo.





#### 6.1.4. Carbón Activado

##### Características del Residuo por Utilizar.

Para obtener Carbón Activado se puede partir de carbón vegetal (ver 6.1.3) del que se requiere que sea homogéneo en su composición, sin importar mucho su granulometría.

##### Descripción del Proceso.

El carbón vegetal es molido y mezclado con una pequeña proporción de alquitrán, que sirve de aglomerante, antes de "pelletizarlo". Los gránulos son dejados "madurar" y secados, y luego "activados" a temperaturas de 800 a 1.000°C por medio de vapor de agua. Finalmente se clasifica el producto por tamaños y se envasa en tambores de fibra o sacos de papel.

##### Equipos e Instalaciones.

Para la pulverización del carbón vegetal se utiliza un molino grueso y uno fino. La mezcla del polvo con el alquitrán se efectúa de manera discontinua en un recipiente con paletas que entrega una masa espesa y uniforme a la máquina extrusora de "pellets". Después de un tiempo de estacionamiento, los gránulos pasan por un secador de tambor y a un horno rotatorio horizontal calentado por medio de carbón en polvo, gases combustibles u otro medio; donde son sometidos a un tratamiento con vapor de agua, que aumenta su superficie interna (Superficie Específica) de 200 a 1.000 veces. Después de enfriados, los gránulos pasan a un tamiz clasificador horizontal y al envasado para su despacho.

Estos equipos son habitualmente provistos como un conjunto con el "know-how" por proveedores de los países de mayor desarrollo, que no suelen entregar insumos ni coeficientes técnicos sino ante situaciones específicas.

#### Características del Producto y su Uso.

El carbón activado representa una estructura de una enorme porosidad, que lleva su superficie interna hasta 2.000 metros cuadrados por gramo, lo que hace que pueda adsorber gases y líquidos en una proporción increíble respecto de la cantidad empleada. Ello, y su costo razonable, lo constituyen en un material de amplio uso en sistemas de purificación.

Existen en el mercado diversos tipos de carbones activados. Grosso modo, pueden clasificarse en:

- De fase líquida (hasta 1.000 m<sup>2</sup>/g), que son polvos sedosos y livianos utilizados principalmente para decolorar y purificar líquidos, que encuentran aplicación mayoritaria en:
  - . refinación final de soluciones de azúcar;
  - . purificación de aguas industriales y potables;
  - . depuración de solventes orgánicos;
  - . desodorización de grasas y aceites;
  - . industria farmacéutica;
  - . y numerosos otros usos.
- De fase gaseosa (de 1.000 a 2.000 m<sup>2</sup>/g), normalmente gránulos duros que permiten reiteradas regeneraciones. Son de mayor precio y tienen menor demanda que los anteriores, utilizándose primordialmente en:

- . purificación y separación de gases, como en sistemas acondicionadores de aire, máscaras antigas y filtros de cigarrillos;
- . recuperación de solventes orgánicos volátiles;
- . sistemas catalíticos;
- . equipos auxiliares en cámaras astronáuticas,
- . etc.

#### Casos de Aplicación en Chile.

Existe una fábrica de carbón activado en Placilla (Valparaíso) que incluso ha exportado parte de su producción. La madera (y corteza) de Pino insigne que ocupa da un buen producto. No hay riesgos ni limitaciones tecnológicas aparentes en su elaboración, y sí una clara ventaja en el margen de utilidad que deja el producto.

#### Fuentes de Apoyo Tecnológico.

Fundación Chile

Barros Asenjo, Consultores Forestales e Industriales.

## 6.2. Tecnologías Promisorias sin Aplicaciones en el País

### 6.2.1. Energía Térmica Industrial.

#### Residuos por Utilizar y Características Deseables de Ellos.

Residuos de bosque y de la industria primaria, astillados o desmenuzados. Conviene recogerlos cuando su contenido de humedad sea mínimo.

#### Tratamientos y Procesos.

De los tres sistemas básicos de combustión, ascendente, horizontal y descendente, el primero es el único que hasta hoy se utiliza en el país. Sin embargo, el sistema de combustión horizontal ofrece ventajas importantes. El Gráfico 1 ilustra un equipo que lo emplea como fuente de calor para una caldera. Comparado con los hogares convencionales, cámaras de gran volumen de construcción refractaria, parece notablemente más sencillo y de menor inversión.

De cualquier modo, parece éste un sistema interesante para aprovechar el contenido térmico de los desperdicios leñosos.

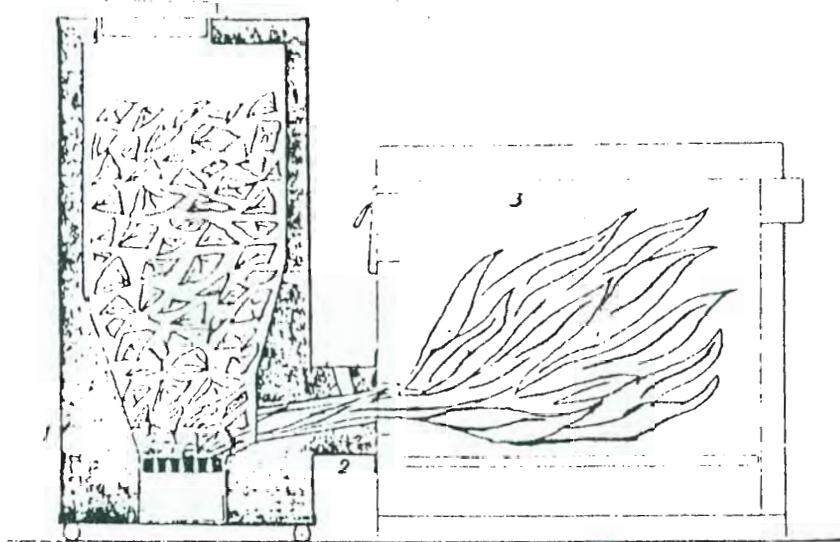


FIGURA 1. ANTEHOGAR DE COMBUSTION HORIZONTAL

1. ANTEHOGAR
2. CONEXION
3. CALENTADOR DE AGUA.

### 6.2.2. Energía Eléctrica con Gasógenos

#### Residuos por Utilizar y Características Deseables de Ellos.

Residuos de bosque y de aserradero cortados en largos que no exceden de 250 centímetros son apropiados, pero su contenido de humedad debe ser reducido considerablemente. Para ello se recomienda recogerlos unos tres meses después de producidos (o en pleno verano) y apilarlos bajo techo, con buena ventilación, cerca del casógeno.

#### Tratamientos y Procesos.

El objetivo del proceso es gasificar la madera para alimentar una máquina de combustión que a su vez impulsa un generador eléctrico. Instalaciones de este tipo podrían proveer de energía eléctrica a aserraderos y a poblaciones aisladas del Centro-Sur y Sur del país.

La alimentación de la unidad de gasificación se hace a través de una tolva subterránea, siguiendo automáticamente el consumo del motor de combustión. Esta tolva puede ser equipada para que circulen por ella los gases calientes de escape del motor, a fin de bajar la humedad de los residuos. Ello es muy conveniente puesto que mientras más bajo es su nivel mejor es la operación, y sólo bajo el 25% el gas producido estará libre de alquitrán, perjudicial para el motor.

El gasificador opera en corriente descendente continua, sin calefacción externa. La madera primero pierde el agua, luego se quema parcialmente a CO, CO<sub>2</sub>, etc. y Carbón, formando éste un lecho de alta temperatura a través del cual

deben pasar el vapor de agua y los gases condensables y no condensables. Se producen así reacciones variadas que rompen la mayor parte de las moléculas complejas, descomponen el agua en sus elementos, etc. En la composición del gas afluente, llamado "gas de generador", predomina el Nitrógeno (un 50%), el Monóxido de Carbono (un 20%), el Hidrógeno (un 16%) y el Dióxido de Carbono (un 10%). Su poder calorífico es cercano a las 1.200 kcal/Nm<sup>3</sup>.

El gas arrastra algo de cenizas de la madera y de polvo de carbón; junto con purificarlo se lo enfría, pasando finalmente por un precipitador electrostático que termina de eliminar partículas líquidas y sólidas que afectarían la duración útil del motor.

Depurado y enfriado, el gas puede alimentar junto con aire el motor de combustión, cuya eficiencia se eleva con la presión media de los cilindros, su velocidad de desplazamiento, y la velocidad tangencial del cigueñal. Puesto que las máquinas a gas trabajan a presiones de pistones inferiores a las Diesel, se las usa con altas revoluciones por minuto. Sin embargo, casi cualquier máquina de combustión interna puede ser alimentada con gas de generador, o con una combinación de éste con petróleo. Sus gases de escape no forman humo.

La eficiencia de las diversas unidades varía con su tamaño y la carga de trabajo que sostengan, pero se estima que 1,25 kg de madera con 20% de humedad son necesarios por cada kWh consumido.

Se ofrecen unidades desde 75 kW de potencia.

### 6.2.3. Combustibles por Destilación Seca.

#### Residuos por Utilizar y Características Deseables de Ellos.

Todo tipo de residuos sólidos de bosque y de la industria primaria pueden utilizarse, aún cuando cada instalación fijará sus dimensiones máximas y limitará su contenido de humedad. En este sentido es útil recolectarlos unos tres meses después de producidos o en pleno verano, y acumularlos bajo techo con buena ventilación en la industria.

#### Tratamientos y Procesos.

Se entiende por "destilación seca" o "pirólisis" de la madera su calefacción sin admisión de aire, lo que la diferencia de la "carbonización". El proceso normalmente conduce a la obtención de carbón vegetal, un líquido oleoso llamado "ácido piroleñoso", y gases combustibles, en proporciones que varían de acuerdo con las variables del proceso y los equipos utilizados.

En general la tendencia en los últimos años ha sido la de llegar a procesos continuos que comienzan por el secado de la madera, a veces hasta 5% de contenido de humedad, su pirólisis controlada y la posterior separación del carbón, el aceite pirolítico y los no condensables. El aceite, solo o mezclado con diesel, se usa como combustible en tanto que los gases salientes suelen usarse para secar la alimentación de madera. Tecnología sobre estas bases es ofrecida en Europa y Norteamérica para instalaciones de diverso tamaño.