Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

PN-ABE-998 65415

ICAITI

HORNOS PARA CARBON VEGETAL

INFORME TECNICO

Proyecto de leña y fuentes alternas de energía
ICAITI - ROCAP - AID
1980 - 1987

ESTE DOCUMENTO FORMA PARTE DE UNA SERIE DE INFORMES FINALES SOBRE EL DESARROLLO DE LAS TECNOLOGIAS INVESTIGADAS POR EL PROYECTO DE LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA, HASTA FINALES DE 1987.

EN UNO DE LOS ANEXOS SE ENCUENTRA LA LISTA COMPLETA DE ESOS INFORMES Y DE OTRAS PUBLICACIONES PREPARADAS POR EL PROYECTO.

ICAITI ESPERA QUE LA INFORMACION PRESENTADA EN ESTOS DOCUMENTOS SEA UTIL PARA LAS PERSONAS INTERESADAS EN UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA.

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
-ICAITI-

HORNOS PARA CARBON VEGETAL

HORNO DE LADRILLO TIPO COLMENA-ICAITI

Y

HORNO METALICO PORTATIL TIPO ICAITI

]]][[[

Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía
ICAITI-ROCAP AID No 596-0089

1987

P R E S E N T A C I O N

El INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (ICAITI) es un organismo regional de carácter tecnológico, creado por los cinco Gobiernos de Centroamérica, con la asistencia de las Naciones Unidas, para servir al desarrollo y a la integración económica centroamericana. El ICAITI persigue, entre otros, los siguientes objetivos fundamentales:

> Realizar investigaciones tecnológicas para la utilización apropiada de materias primas regionales; desarrollar procesos de fabricación; elaborar nuevos productos y adoptar tecnologías mejoradas.

Desde su fundación en la ciudad de Guatemala, en enero de 1956, el ICAITI funciona como una entidad autónoma, de carácter internacional, no lucrativa, dedicada de lleno a impulsar el fomento del sector industrial de Centroamérica y, por ende, el incremento de su nivel productivo.

Durante los años de 1980 a 1987, el ICAITI llevó a cabo el Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, con apoyo financiero de la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID). Los resultados del Proyecto están resumidos en una serie de informes como éste (ver Anexo A-19). El ICAITI espera que el contenido de esta serie de informes sea útil a los interesados en el uso de las técnicas mejoradas para aprovechar las fuentes renovables de energía.

El ICAITI cuenta con un equipo de técnicos en los siguientes campos: energía, desarrollo de pequeñas industrias y desarrollo industrial en general. Ofrece servicios de información, con acceso a redes computadorizadas internacionales. Puede, asimismo, brindar, tanto a empresas como a instituciones o personas individuales: asistencia técnica, capacitación, evaluación; asesoramiento técnico en producción, normas y control de calidad; estudios de factibilidad, pruebas y análisis, investigación aplicada y otros servicios relacionados con las necesidades de la industria centroamericana.

Más información puede obtenerse directamente en:

ICAITI
Ave. Reforma 4-47
Zona 10,
Guatemala, Guatemala

Apartado Postal 1552
Telex: 5312-ICAITI-GU
Cable: ICAITI
Teléfonos 3106-31/35

I N D I C E

RESUMEN 1

1. ANTECEDENTES 3

2. INTRODUCCION 5

3. ENUNCIADO DEL PROBLEMA POR RESOLVER 7
   3.1 Generalidades
   3.2 Producción tradicional del carbón vegetal
   3.3 Producción industrial del carbón vegetal
   3.4 El problema por resolver.

4. EL HORNO ESTACIONARIO TIPO COLMENA-ICAITI 15
   4.1 Desarrollo de la solución
   4.2 El horno estacionario
   4.3 Estado actual de la tecnología desarrollada
   4.4 Operación
   4.5 Evaluación técnica
   4.6 Evaluación económica
   4.7 Consideraciones finales.

5. EL HORNO METALICO PORTATIL TIPO ICAITI 33
   5.1 Desarrollo de la solución
   5.2 El horno - primer modelo
   5.3 Operación del horno
   5.4 Evaluación técnica
   5.5 El horno - modelo mejorado
   5.6 Evaluación económica
   5.7 Conclusiones y recomendaciones sobre el horno métalico.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES 49

7. ANEXOS (Detalle en página siguiente). 51

ANEXOS

Generalidades

A-1. Aspectos técnicos de la carbonización

A-2. Análisis de carbón vegetal

A-3. Consumo de leña para producción de carbón vegetal en Centroamérica, 1983.

A-4. Precios del carbón vegetal a granel, en Costa Rica.

Horno de ladrillo para carbón tipo Colmena ICAITI.

A-5. Dibujos y listas de materiales de construcción para los hornos tipo Colmena ICAITI.

A-6. Hornos tipo Colmena ICAITI ya construidos en Costa Rica y Guatemala.

A-7. Unidad demostrativa Horno Colmena ICAITI, en Coris.

A-8. Horno Colmena ICAITI. Dos casos típicos. Costa Rica.

A-9. Costos de producción horno Colmena ICAITI Costa Rica.

A-10. Actividades de promoción del horno Colmena ICAITI.

A-11. Bibliografía relativa a hornos Colmena.

Horno metálico portátil para carbón tipo ICAITI.

A-12. Unidad experimental del horno metálico. Fotografía.

A-13. Primer diseño del horno metálico.

A-14. Horno metálico, diseño mejorado. Planos, proceso de fabricación, materiales y costo.

A-15. Dos unidades demostrativas del horno metálico.

A-16. Producción de carbón vegetal y líquido piroleñoso, FORESA, 1985.

A-17. Costos de producción/unidades demostrativas horno métalico.

A-18. Bibliografía relativa al horno metálico.

A-19. Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía.

RESUMEN

Objetivo

Desarrollar hornos para producir carbón vegetal, más eficientes que el horno tradicional, cuya construcción y uso sólo requieran de recursos disponibles en Centroamérica (materiales, mano de obra; desechos forestales, madera de bosques apta para carbón vegetal) y tecnología adecuada al medio.

Problemática

La producción de carbón vegetal mediante el método tradicional tiene baja eficiencia de conversión leña/carbón, lo que causa una deforestación indirecta por requerir más leña por unidad de carbón producido. Por otra parte, como consecuencia del manejo de los bosques, existe gran cantidad de residuos forestales que se pierden en el campo por lo difícil de su traslado a los centros de consumo.

Descripción de la técnica desarrollada

Se diseñaron y probaron dos hornos (del tipo de suministro interno de energía), con los que pueden aprovecharse residuos forestales, para obtener carbón y otros productos:

a) El horno Colmena ICAITI, estacionario, para producción industrial de carbón vegetal.

b) El horno metálico portátil, para pequeña producción de carbón vegetal, líquido piroleñoso y alquitrán.

Conclusiones y recomendaciones

El carbón vegetal producido por los hornos ICAITI (Colmena y metálico), es de calidad apropiada para aplicaciones domésticas e industriales.

El horno Colmena ICAITI representa una adecuada oportunidad de inversión para las empresas interesadas en producir carbón vegetal a partir de desechos forestales.

Las utilidades obtenidas de los hornos Colmena ICAITI aumentan conforme crece el número de hornos instalados y cuando el costo de la materia prima es bajo.

El horno metálico portátil ICAIT es un excelente productor de líquido piroleñoso (con índice de recuperación

del 10% en peso), pero las utilidades obtenidas son negativas si no se puede comercializar efectivamente el líquido obtenido (que es el caso de Turrialba en Costa Rica y de Quetzaltenango en Guatemala).

En Guatemala se desconoce el uso del líquido piroleñoso como preservante de madera, y eso dificulta su comercialización.

Se recomienda proseguir con la investigación para mejorar el horno tradicional y beneficiar a los pequeños productores.

Se recomienda difundir la tecnología del carbón vegetal UNICAMENTE en empresas y/o países que produzcan residuos forestales, para no propiciar ningún efecto indirecto de deforestación.

1. ANTECEDENTES

La población de América Central depende en gran medida de los recursos forestales para satisfacer sus necesidades energéticas; en el año de 1984 la biomasa, principalmente la leña, constituyó la fuente del 65% de la energía total consumida en el istmo. Mientras tanto, según se estimó, la cubierta vegetal de bosque denso había quedado reducida al equivalente del 34 % del territorio total, a causa de la continua destrucción a que ha estado sometida; esta destrucción es tal que, de continuar al mismo ritmo, la hará desaparecer totalmente hacia principios del siglo entrante.

Un 90% de la leña es empleado para cocinar. El 10% restante, se emplea para la producción artesanal y tradicional de artículos como pan, ladrillos y tejas, cal, cerámica, sal, panela, y para algunos procesos de secado. Muchas de estas actividades artesanales suelen estar concentradas en zonas geográficas reducidas (por causa de la disponibilidad de materia prima, mercados, etc.) y por su fuerte demanda de leña, son causa de una deforestación localizada.

El 68% de la población total de la región, más de 12 millones de personas, depende de la leña para cocinar y, de no tomarse medidas drásticas oportunas, se prevé que este gran sector de la población se verá afectado por una aguda escasez de la única fuente energética de que dispone. En la actualidad, las consecuencias de esta escasez pueden apreciarse en el surgimiento de zonas críticas, en las que una familia tiene que gastar más de la tercera parte de sus ingresos para adquirir la leña que necesita para cocinar.

Ante esta problemática, en septiembre de 1979, el ICAITI y la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID), celebraron un convenio para la ejecución del Proyecto denominado "Leña y Fuentes Alternas de Energía".

Los dos objetivos generales que se fijaron para el Proyecto fueron: a) experimentar con árboles de crecimiento rápido y con patrones para su producción (a cargo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE), y b) desarrollar, demostrar y diseminar tecnologías que permi-

tieran hacer un uso más racional de la leña y aprovechar nuevas fuentes económicas de energía, tales como la energía solar y el biogás (a cargo del ICAITI). Se establecieron como prioritarias las necesidades de las zonas rurales y de las pequeñas industrias.

El Proyecto a cargo del ICAITI duró ocho años. En este período, se han probado más de cien aplicaciones de tecnologías, de las cuales se llevaron a etapa de demostración unas cincuenta. En una evaluación final, se concluyó que el Proyecto ha logrado un gran impacto traducido en el ahorro de 200 000 metros cúbicos de leña, como resultado de la adopción de tecnologías eficientes para el uso de la leña y de tecnologías que la reemplazan por energía solar; también se dió impulso a 400 pequeñas industrias, con la generación de empleos para más de 1500 personas. Alrededor de 13 000 familias se beneficiaron directamente del Proyecto, y fueron innumerables los beneficiados indirectos.

Hay que señalar que el desarrollo de una tecnología responde a factores dinámicos y, por lo tanto, está en continua evolución. Tiene que adaptarse a las necesidades de los usuarios y estas necesidades pueden variar con el tiempo y con los inevitables cambios en las condiciones sociales y económicas de las poblaciones. Por lo tanto, no existe una "tecnología apropiada" en sí; lo que se trata de hallar es la mejor solución a un problema, aprovechando los recursos disponibles y dentro del contexto socioeconómico del momento.

2. INTRODUCCION

Este informe contiene una reseña del desarrollo de dos hornos distintos para producir carbón vegetal: un horno estacionario, de ladrillo, tipo Colmena y un horno metálico portátil.

En atención a que el carbón vegetal se produce en Centroamérica mediante métodos tradicionales de baja eficiencia, el ICAITI realizó una investigación (Enero 1983) a fin de desarrollar un horno eficiente para carbón vegetal, adaptado a las condiciones (topografía, clima, cultura, etc.) y a la disponibilidad de recursos (materiales, mano de obra, materia prima, etc) de la región.

Se buscaba mejorar la técnica de producción de pequeñas empresas o cooperativas con plantaciones forestales productoras de leña, o productoras de residuos de aserrío o de manejo forestal aptos para carbón.

Entre Abril de 1983 y Mayo de 1985, el ICAITI desarrolló dos tipos de hornos: uno de instalación permanente construido con ladrillo, en versión de alta capacidad (49 m^3) y en versión de mediana capacidad (13 m^3); y otro, portátil y de metal, de baja capacidad (5 m^3).

Dichos hornos se probaron y demostraron en zonas forestales de Guatemala y, sobre todo, en Costa Rica en donde la tecnología se difundió ampliamente.

3. ENUNCIADO DEL PROBLEMA POR RESOLVER

3.1. Generalidades

En el istmo centroamericano, el carbón vegetal se utiliza preferentemente como combustible doméstico y comercial para la cocción de alimentos y, en menor grado, en aplicaciones industriales (fundición y trabajo de metales, fábricas de cemento, etc).

De acuerdo a la CEPAL (Ver Anexo A-3) el consumo total de carbón vegetal en los países del istmo durante el período 1979-1983 disminuyó considerablemente, con una tasa de crecimiento de -3.1 y con tendencia a desaparecer en Guatemala, El Salvador y Panamá, mientras que en los países restantes el consumo aumenta con tasas similares a las de crecimiento de la población.

A pesar de lo anterior, la oferta de carbón vegetal para 1983, se estimó en 70 000 toneladas/año (489 TCal), producidas principalmente por métodos tradicionales de baja eficiencia de conversión (en promedio, 32.6% en volumen), que requirieron 482 000 toneladas de leña (1 492 TCal). Con sólo usar métodos convencionales, cuyos rendimientos son del 60%, la producción anterior requeriría no más de 245 000 toneladas de leña, y se lograría obtener un ahorro equivalente a 237 000 toneladas de leña.

Por otra parte, se da el caso de que, por ejemplo, en Costa Rica se produce una considerable cantidad de residuos de explotaciones forestales (alrededor de $2x10^6$ m^3/año), que

Previous Page Blank

no se emplean como leña a causa de que los bosques en que se producen quedan lejos de las zonas de consumo, lo que no favorece su comercialización y por lo que muchas veces se pudren durante la estación lluviosa.

3.2 Producción tradicional del carbón vegetal.

3.2.1. Fosas domésticas (Guatemala).

Se selecciona un terreno sólido e inclinado donde se excava una fosa de forma piramidal, de aproximadamente medio metro cúbico de volumen. El fondo y las paredes se excavan inclinadas y aplanadas, para facilitar el proceso de carbonización (Ilustración 1,a).

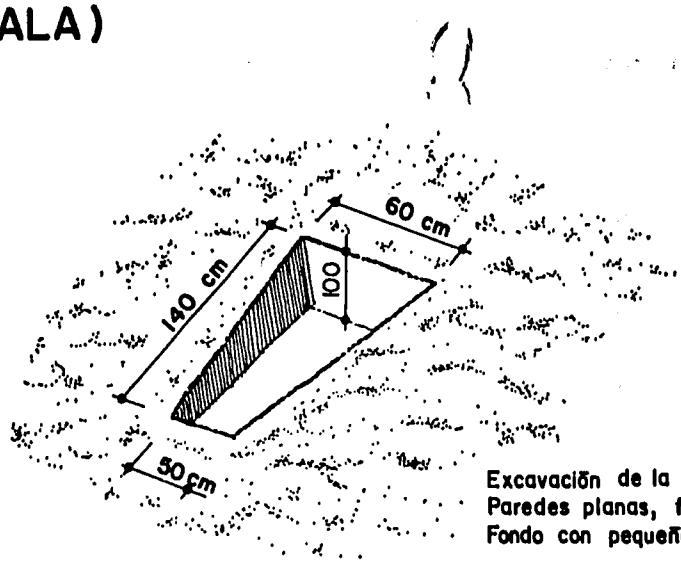
Antes de llenar la fosa, se coloca un arreglo de leña (Ilustración 1, b) que permite el ingreso y la circulación de gases entre la carga. La leña se corta en trozos de 1.4 m de largo, y se transporta hasta la fosa.

El borde expuesto de la fosa se rodea con una empalizada provista de agujeros de salida de gases y encendido (Ilustración 1,c).

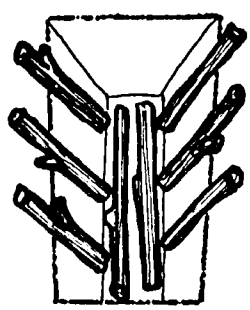
La carga se realiza apilando los leños en forma horizontal, hasta llenar el espacio disponible; el apilado se lleva hasta el borde superior de la empalizada. Luego, se cubre todo con una capa de agujas de pino seco y una capa de tierra.

El encendido se hace por medio de ramas secas; el fuego encendido, durante la primera fase, seca la leña y eleva la temperatura interior de la fosa. Cuando ya ha ocurrido, esto, el operador reduce el ingreso de aire y abandona la fosa hasta que se complete la carbonización.

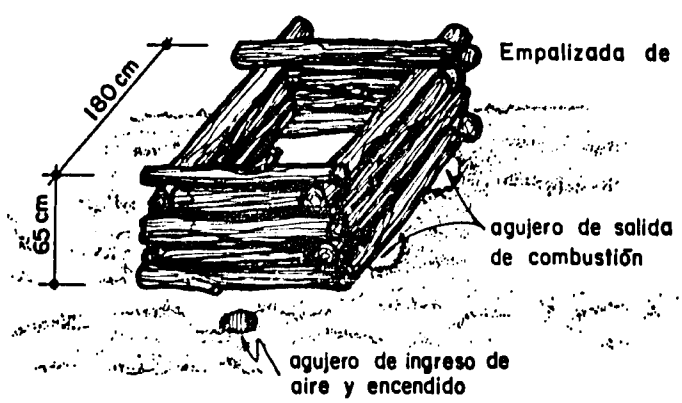
Ilustración I
FOSAS DOMICILIARES MEDIANAS (GUATEMALA)



Excavación de la fosa.
Paredes planas, forma piramidal
Fondo con pequeña pendiente



Arreglo con leños rectos
de grueso entre 3 y 5 cm



En las fosas es difícil controlar el progreso de la carbonización y se considera que ésta avanza en la medida en que se produce un hundimiento progresivo de la cubierta, el cual es completo cuando finaliza la carbonización.

Finalmente, la fosa se sella con suficiente tierra y se deja enfriar durante el tiempo necesario hasta que sea posible iniciar el vaciado. Para eso, se retira la empalizada y se separa el carbón de la tierra que lo cubre. Los procesos de carbonización y de enfriamiento requieren de 2 a 3 días para completarse; la preparación y carga de la leña, dos y media horas; la descarga, una hora. Este método es el más usado en Guatemala por los pequeños productores.

Se usan fosas de diversos tamaños, que van desde 3 a 4 metros cúbicos, que usan los grandes productores, hasta pequeños agujeros para producciones muy limitadas y ocasionales. En Costa Rica se usan fosas sin empalizada, con un volumen útil entre uno y dos metros cúbicos.

3.2.2. Piras o parvas (Honduras)

En pequeña escala, la pira típica es de 3 m de diámetro por 1.5 m de alto. La pira permite que la leña se apile adecuadamente y que se preseque durante algunos días hasta cuando ya se puede carbonizar.

La forma de la pila depende de la forma de la base; para el apilado de base rectangular se colocan dos leños en los extremos de la base y sobre estos se apila la leña transversalmente hasta la altura deseada; para el apilado de base circular, la leña se acomoda verticalmente. Al igual que con el método de la fosa, la pila se cubre con una capa de paja u hojas secas de pino, y luego se cubre con una capa de tierra. En la base se dejan de 6 a 10 tomas de aire y en la cúpula, una abertura de 20 cm para salida del humo.

El proceso se inicia con el encendido y continúa con el secado, el calentamiento, la carbonización y el enfriamiento, tal como ya se ha descrito.

3.2.3. Ventajas de la tecnología tradicional.

- Costo de inversión mínimo. Sólo se requiere herramienta para cortar y preparar la leña, así como azadón, pico y pala para preparar el terreno (que consiste en una nivelación en el caso de las piras, y en una excavación, en el caso de las fosas).

- Costo de producción bajo. Sólo se requiere mano de obra para preparar, cortar y apilar la leña, y además descargar el carbón. En algunos casos el costo es aún menor cuando el productor se apropia ilegalmente de la leña.

3.2.4. Desventajas de la tecnología tradicional.

Fosa doméstica

- No es posible ejercer control sobre el proceso de producción, por lo cual la circulación interna de los gases de combustión es errática y, como consecuencia de esto, el grado de carbonización dentro de la fosa varía de un punto a otro.

- El consumo de leña por unidad de carbón producido es alto a causa de bajos rendimiento de conversión (en peso, aproximadamente del 17 al 22%; y en volumen, del 20 al 38%).

- Cuando se produce carbón durante la estación lluviosa, absorbe humedad y líquido piroleñoso.

- Se produce contaminación atmosférica apreciable por la emanación constante de gases de combustión sin tratamiento.

- Se obtiene una alta proporción de finos cuando se emplea leña delgada.

Piras (parvas)

- Es difícil lograr y mantener un sello efectivo contra el aire, así como una circulación adecuada de gases durante el proceso, por lo cual el carbón producido es de calidad variable. Algunas veces se obtiene mucho material sin carbonizar y, cuando ingresa más aire del requerido, el carbón se reduce a cenizas en alguna parte de la pira.

- El consumo de leña por cada unidad de carbón producido es similar al de la fosa.

- La operación de reparar el sellado de la pira es peligrosa.

3.3 Producción industrial del carbón vegetal.

Existen dos diferentes métodos de producción de carbón vegetal en hornos:

a) El de <u>suministro interno de energía</u>, en el que el calor requerido por el proceso se obtiene de la combustión de una parte de la carga de leña. En este método, la temperatura de carbonización varía conforme cambia el grado de combustión, el cual es difícil de controlar. Utilizan este sistema, los métodos tradicionales (fosas y piras); los hornos media naranja argentina, el Colmena brasileño, y el Colmena

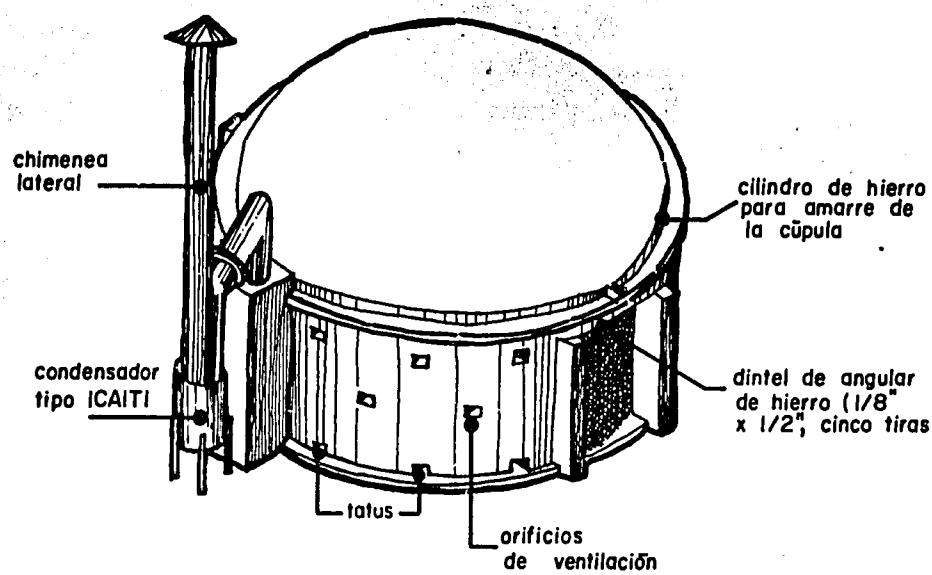
tipo ICAITI; los hornos metálicos fijos o portátiles; el horno de concreto "Missouri", etc.

b) El de suministro externo de energía (pirólisis), en el que el calor requerido por el proceso es suministrado por otros combustibles ajenos a la carga de leña. Esta característica permite controlar la temperatura de carbonización y producir con rendimientos y calidad superiores al método anterior. Los hornos existentes en esta categoría son de dos tipos: los de calentamiento directo que incluyen al Schwartz sueco, el Colmena brasileño con carrera de combustión externa, y a los metálicos de Reicher-Lambiote; y los de calentamiento indirecto que incluyen a los hornos tipo túnel de ladrillo y metálico.

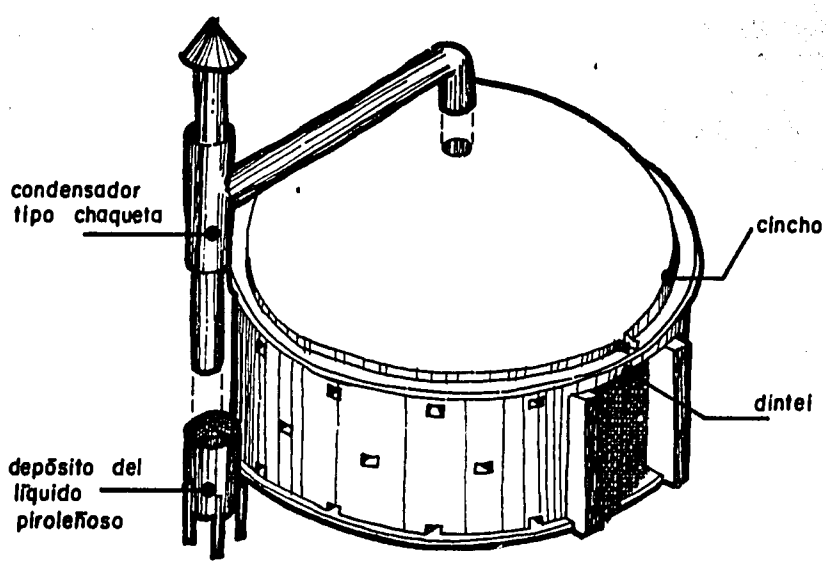
3.4 El problema por resolver

Desarrollar hornos para producir carbón vegetal, cuya eficiencia de conversión leña-carbón sea mayor que la del sistema tradicional y cuya construcción y funcionamiento sólo requieran recursos ya disponibles en las regiones en que se instalen.

ilustración 2
HORNO ESTACIONARIO TIPO COLMENA - ICAITI



modelo de 49 m³



modelo de 13 m³

4. EL HORNO ESTACIONARIO TIPO COLMENA-ICAITI

4.1 Desarrollo de la solución

4.1.1 Aspectos generales

Cuando se aprovechan bosques nativos aptos para la producción de carbón vegetal, el tamaño del sistema de producción se elige de acuerdo al volumen de la demanda, la producción de leña (m^3/ha) y el tamaño del bosque. En casos así, es posible definir el número y capacidad de los hornos requeridos, así como el tiempo durante el cual operarán.

Cuando la producción es a base de residuos o raleas ocasionales, es difícil establecer el tamaño preciso del sistema productivo.

Por otra parte, cuando la distancia entre el lugar de corte y el sitio en que se produce el carbón es grande, el costo de producción resulta adversamente afectado.

Con el objeto de cubrir todas las posibilidades, y de reducir algunos de los inconvenientes anteriores, el ICAITI decidió desarrollar un horno estacionario de mediana capacidad, y un horno metálico portátil de baja capacidad.

A continuación se describe el desarrollo, los resultados obtenidos, y otras cuestiones relativas al horno estacionario Colmena tipo ICAITI, en dos diferentes tamaños; y más adelante, lo correspondiente al horno metálico portátil.

4.2 El horno estacionario.

4.2.1 Selección preliminar de la tecnología

- Se efectuó una selección preliminar con base en la información bibliográfica disponible; se escogieron las opciones que tuvieran posibilidades de adaptarse al medio local en lo que corresponde a materiales de construcción, mano de obra, costos, aceptación, facilidad en el aprendizaje del método de producción, etc.

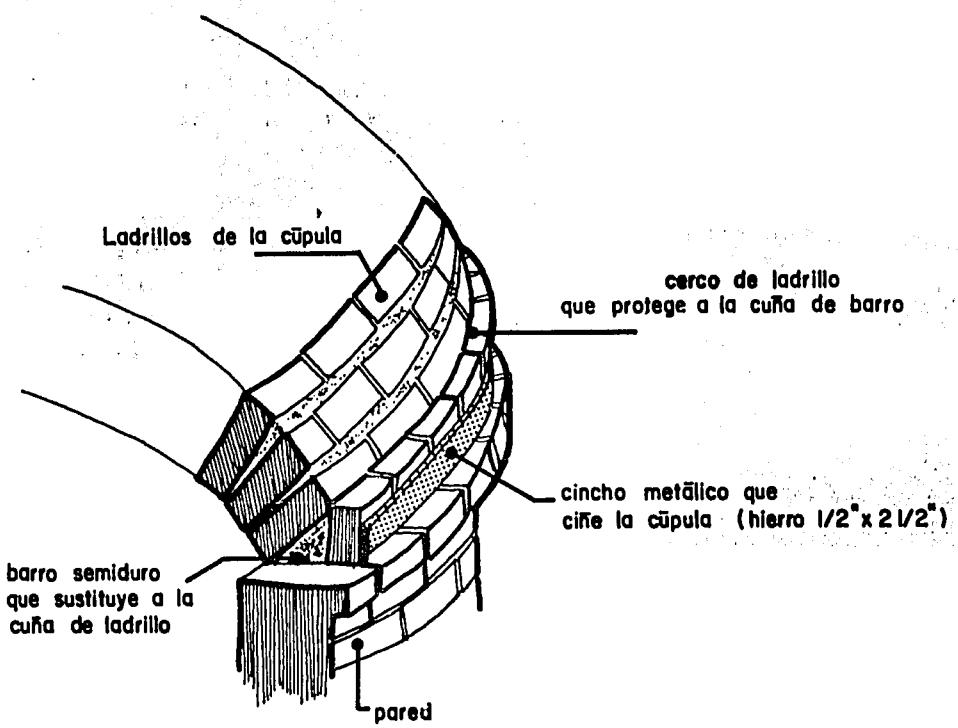
A partir de la revisión bibliográfica, se preparó el Cuadro No.1 que sirvió de base para hacer la selección final de la tecnología.

CUADRO NO. 1 TECNOLOGIAS PRESELECCIONADAS

Concepto	HORNOS	
	Colmena Brasileño	Media Naranja Argentino
Volumen nominal (m^3)	49	60
Relación m3 leña/m^3 de carbón	1.7 a 2	1.5 a 2
Ciclo operacional días/tanda	8	10
Personal (hombres/Número de hornos)	2/9	3/14
Producción carbón/tanda, t*	5 a 5.5	7 a 7.5
Rendimiento en peso (base seca)*	29 a 33	29 a 33
Vida útil, años	7	8
Relación t leña/t carbón*	4.5/5.5	3.75/4.3
Materiales disponibles en Centroamérica	sí	sí
Control de proceso	medio	medio
Costo de inversión	medio	medio
Facilidad de construcción	sí	reg.
Sistema recuperación subproductos	sí	no

* Estos valores varían de acuerdo con la densidad y humedad de la madera, y la temperatura de operación.

Ilustración 3
SUSTITUCION DE CUÑAS DE LADRILLO



4.2.2 Selección final de la tecnología

De acuerdo al cuadro anterior, tanto el horno "Colmena" Brasileño como el "media naranja" argentino podrían adaptarse al medio centroamericano; sin embargo se escogió la opción brasileña, por las razones siguientes:

- Este horno ha sido el elemento clave del éxito de la industria brasileña del carbón vegetal que actualmente es la mayor productora del mundo (5 millones de toneladas/año).

- Era posible acudir a un experto local (Costa Rica) con información y experiencia en diseño, construcción y operación del horno Colmena brasileño.

4.2.3 Diseño del horno tipo Colmena-ICAITI

Tomando como base la información disponible, la asesoría del experto y la experiencia del ICAITI, se diseñó un horno Colmena de ladrillo de 49 m^3 de capacidad nominal y producción de 5 toneladas de carbón vegetal/tanda.

El diseño ICAITI se diferencia del diseño brasileño en lo siguiente:

- Sustitución de las cuñas de ladrillo que se usan en el horno brasileño como base de la cúpula (Ilustración 3)

- Sustitución del complicado sistema de recuperación de alquitrán por uno sencillo y de bajo costo

- En los hornos pequeños, uso de chimenea central.

4.3 Estado actual de la tecnología desarrollada

Diseños ICAITI

A la fecha, existen dos versiones de diferente capacidad; el primer modelo ("A") de 49 m^3, y el modelo ("B") de 13 m^3 que tienen las siguientes características (Ver Ilustración 2):

Concepto	Modelo "A"	Modelo "B"
Diámetro interno, m	5.0	3
Altura pared, m	1.8	1.6
Altura total (base/cima cúpula)	3.1	2.2
Volumen nominal m3	49	13
Orificios de ventilación lateral	24	16
Orifi. ventilación inferior (tatus)	12	8
Puertas de 1.60 m x 1 m		1
Tipo de chimenea	lateral	central

Ambos modelos incluyen condensador de lámina de hierro negro adaptado a las chimeneas, y refuerzos de metal para el dintel de las puertas y para la base de la cúpula (Ver Ilustración 2).

4.4 Operación

El proceso de producción de carbón vegetal, varía de acuerdo al tipo y origen de la madera (árboles de raleas de mantenimiento, árboles de explotación no comercial, residuos de aserradero, residuos de explotación comercial, etc.), que determina las etapas u operaciones requeridas por el proceso. El cuadro incluido dos páginas más adelante muestra los casos.

ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCION SEGUN EL TIPO DE LA MATERIA PRIMA Y ORIGEN

TIPO DE OPERACION (*)	Arboles de raleas de mantenimiento y/o árboles de extación comercial	Residuos de aserradero	Residuos de explotación comercial
Explotación Forestal			
Descombre	——		
Desganchado	——		
Corte de trozas	——		
Acarreo trozas	——		
Transporte trozas	——		
Preparación carga			
División troza	——	——	——
Presecado	——	——	——
Almacenamiento	——	——	——
Carga del horno	——	——	——
Operación horno			
Encendido	——	——	——
Sellado puertas	——	——	——
Carbonización	——	——	——
Enfriamiento	——	——	——
Descarga	——	——	——
Empaque	——	——	——
Almacenamiento	——	——	——

Se excluyen la formación y el mantenimiento forestal por ser operaciones ajenas al proceso de producción del carbón. .

Se describen a continuación las etapas de la producción de leña obtenida de raleas y/o obtenida de la explotación no comercial, ya que ambos tipos de producción engloban a todas las operaciones de los otros procesos.

4.4.1 Explotación forestal.

Según sean los recursos disponibles del productor (si utiliza bosque propio), o del suministrador de materia prima, el descombrado (volteo), desganchado y división del árbol a un tamaño apropiado para el transporte, se realiza con motosierra, y/o hacha.

Para el acarreo de las trozas a la carretera, en lugares planos se prefiere el uso de carretas jaladas por bueyes o por pequeños tractores. En lugares inclinados, se opta por el rodamiento de la trozas. La carga y descarga de las carretas es completamente manual.

El transporte de las trozas hasta el horno y/o patio de almacenamiento de materia prima se efectúa principalmente mediante tractores acoplados a una o dos carretas.

4.4.2 Preparación de la carga

Cuando se obtienen trozas cuyo diámetro es de 25 cm ó más, se efectúan dos cortes, para producir piezas de 60 cm de largo por 15 cm de ancho: uno longitudinal, y otro transversal. Con trozas entre 15 y 25 de diámetro, se efectúa sólo un corte transversal.

Los árboles recién cortados, por lo general, tienen una humedad superior al 35%. Esto obliga (para mejorar el rendimiento) a presecar la leña obtenida de ellos. El presecado se efectúa, en el verano, por un período mínimo de

90 días, que permite reducir la humedad inicial hasta el 30 o 35%. Durante el invierno es difícil conseguir un buen presecado, por lo que en la práctica carga el horno con leña húmeda.

4.4.3 Carga

La leña presecada/húmeda se introduce al horno y se acomoda al azar tratando de no dejar espacios vacíos. Los trozos de mayor diámetro se colocan en el fondo, con el objeto de facilitar el proceso de carbonización y de reducir la posibilidad de que se produzca carbón desmenuzado como consecuencia del descenso de la carga. La leña de diámetro mediano o pequeño, se coloca a continuación hasta completar el llenado. Cuando se dispone de leña de diámetro uniforme, la carga se puede acomodar verticalmente con leños de 90 cm de largo; y sobre éstos, se rellena la cúpula con leña acostada.

4.4.4 Encendido

Cuando se ha cargado el horno, las puertas se cierran parcialmente con ladrillos y barro, dejando en la parte inferior un pequeño agujero por donde se practica el encendido, el cual se considera completo hasta que se observa suficiente cantidad de brasas. Entonces, se sella el agujero de encendido con ladrillos y barro.

4.4.5 Proceso de carbonización

Tal como se indicó, en el horno Colmena se quema una parte de la carga de leña para producir la energía calorífica requerida por el proceso. Esto se logra haciendo que entre aire por los orificios de la base y de la pared vertical (Ilustración2). Inicialmente se forma un frente de combustión de alta temperatura (800 a 900 °C) que irradia

calor suficiente para secar y calentar la leña hasta el punto en que se puede iniciar la fase de carbonización. Cuando la temperatura interior del horno excede los 280°C, se forma un frente de carbonización que se desplaza de arriba hacia bajo; esto ocurre por la alta producción de volátiles que se acumulan en la cúpula del horno antes de dirigirse hacia el fondo siguiendo movimientos circulares.

El operador juzga la evolución del proceso por el volumen y características del humo que se sale por los orificios. Al inicio, el humo será blanco y abundante; luego, su color se tornará amarillento debido al aumento de temperatura y al desprendimiento de gases y alquitrán. Y, finalmente, la producción de humo disminuirá y su color pasará a ser azulado. Cuando por algún orificio del horno aparezca humo azulado significa que la carbonización ya terminó en ese punto, por lo cual el orificio se tapa con ladrillo y barro. La anterior operación se repite hasta que el frente de carbonización llega a la base del horno y al taparse todos los orificios se considera concluído el proceso que tarda 6 días aproximadamente.

4.4.6 Enfriamiento

El enfriamiento ocurre luego del proceso anterior y tarda alrededor de 5-6 días. En esta etapa, el operador debe asegurarse de que no queden fisuras por las que entre aire al horno.

4.4.7 Descarga

La descarga del horno puede iniciarse cuando no haya carbones encendidos y la temperatura haya descendido a a 60 °C.

4.4.8 Recuperación de líquido piroleñoso

Cuando la carbonización ya ha comenzado, se llena con agua el baño del condensador. Con esto se logra que se enfríen los gases producidos por el horno, y que se condense el líquido piroleñoso. El condensador no requiere más control que reponer el agua evaporada del baño, y abrir periódicamente la válvula de descarga de condensado. Esto último es importante ya que el líquido piroleñoso acumulado en la tubería del baño puede obstruir el paso del humo hacia la chimenea.

El líquido piroleñoso se recoge en recipientes colocados bajo la válvula de descarga y luego se transvasa a recipientes de mayor volumen.

4.5 Evaluación técnica

4.5.1 Unidad demostrativa

Con el objeto de evaluar el horno Colmena tipo ICAITI, se construyó una unidad experimental demostrativa de $49m^3$ de capacidad nominal en Coris de Cartago, Costa Rica (Julio de 1983). Su costo total fue de CA$ 2 000, incluyendo asistencia técnica, y requirió de 30 días-hombre de trabajo (1 albañil y 2 ayudantes).

Las pruebas se hicieron empleando raleas de pino y ciprés recién cortadas, sin presecado y con una humedad cercana al 50%.

El horno fue operado según el procedimiento descrito anteriormente (sección 4.4), y se obtuvieron los resultados que se muestran en cuadro siguiente.

Valores promedio obtenidos en las pruebas 3, 4, y 5
(Ver Anexo A-7)

Cantidad de leña, kg		24 900
Producción de carbón vegetal, kg		3 100
Produc. líquido piroleñoso, L		270
Tiempo total de operación, días		12
Rendimiento en peso (base seca)%		22.8
Calidad del carbón		
Densidad aparente, kg/m^3	180	
Humedad %	7.11	
Cenizas %	0.60	
Materia volátil %	0.66	
Carbono fijo	91.6	
Poder calorífico kcal/kg	6 171	

La productividad del horno se aproxima a los 237 kg de carbón vegetal/día de operación, ó 62.9 kg/m^3 instalado (*).

El rendimiento en peso (base seca) es bajo; esto se debe a que parte de la leña se quema para completar el secado de la carga y para suplir la energía requerida para la carbonización. El rendimiento disminuye conforme aumenta el contenido de humedad de la carga.

La producción de líquido piroleñoso con relación a la carga inicial de leña (índice de recuperación) es considerablemente baja, alrededor de 1% en peso. Esto está determinado por la alta fracción de gases condensables que se expulsan por los orificios laterales de ventilación, lo cual reduce la cantidad de gases que recibe el condensador,

---

* En Brasil, la productividad del horno Colmena es de 625 kg/día o 110 kg/m^3 instalado.

así como por su eficiencia relativamente baja (en sistemas más complejos se consiguen eficiencias mayores, ver página 116 de referencia 8, Anexo A-11).

La calidad del carbón es aceptable y por eso se puede suponer que el proceso se efectuó a temperatura superior a los 500 °C, ya que el contenido de volátiles es reducido.

Conclusiones.

- El rendimiento de la producción de carbón vegetal es bajo, pero puede aumentarse si se preseca la leña.

- El carbón tiene calidad aceptable y resulta adecuado como combustible doméstico e industrial.

- El volumen de líquido piroleñoso producido es buen indicador del grado en que se reduce la contaminación causada por la producción de carbón vegetal.

- La operación del horno es sencilla por lo que la capacitación del operador se logra en 2 semanas.

- El horno ha resultado atractivo para empresas forestales que producen residuos susceptibles de transformarse en carbón vegetal.

4.5.2 Hornos de 13 metros cúbicos

Como resultado del éxito técnico alcanzado por la unidad demostrativa de Coris, Cartago en Costa Rica, la tecnología ICAITI se difundió ampliamente en aquel país. A la fecha, de 21 unidades construídas, 15 son de 13 m^3 y 6 de 49 m^3. Según lo anterior, las unidades de mayor demanda son los hornos de 13 metros cúbicos; para evaluar los resultados

de la operación comercial de los hornos de este tipo, se seleccionaron dos compañías, una que opera con raleas de bosque tropical húmedo, y otra que utiliza residuos de aserradero (Anexo A-6). Los resultados promedio/tanda reportados por ambos compañías son los siguientes:

Concepto	Compañía	
	Lachner y Saent	Aserradero Diafragma
Tipo de materia prima	ralea bosque tropical húmedo	residuos de aserradero
Humedad %	30	30
Cantidad, kg	5 700	6 100
Cantidad, m^3	9.1	8.6
Producción carbón vegetal, kg	1 000	1 100
Producción líquido piroleñoso, L	200	250
Tiempo total de operación, días	8	8
Rendimiento en peso (base seca)%*	25.1	25.8
Calidad del carbón		
Densidad aparente Kg/m^3	-	2.60
Humedad %	-	4.17
cenizas %	-	2.71
Materia volátil %	-	2.52
Carbono fijo %	-	93.2
Poder calorífico, kcal/kg	-	7 891

(kg carbón/kg de leña seca/100)

Con base en los valores del cuadro anterior, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El rendimento en peso (base seca) para ambas compañías supera levemente el 25%, resultado aceptable.

- El índice de recuperación de líquido piroleñoso es relativamente bajo (3.4%), pero superior al encontrado en el horno de 49 m^3. La diferencia se debe a que la succión de la chimenea, que es central, impide la pérdida de gases de combustión que se produce en el horno de 49 m^3 por los orificios laterales de ventilación.

- El índice de productividad es de 131.2 kg de carbón vegetal/día de operación, equivalente a 80.8 kg de carbón vegetal por m^3 instalado; es superior al encontrado anteriormente para el horno de 49 m^3.

Ahorro de energía por horno

El ahorro de energía por horno se mide en función del ahorro de leña obtenido al usar métodos más eficientes de carbonización. De acuerdo a CEPAL (Ver Anexo A-3) la eficiencia del método tradicional en Costa Rica, medida en términos de energía y empleando leña con 20% de humedad se aproxima a un 38% en volumen, que equivale a un rendimiento del 16.8% en peso. El ahorro de leña (potencial) del horno Colmena ICAITI de 13 m^3, se estima en 25.4 - 16.8 = 8.65 en peso de leña utilizada/horno.

Ahorro global de energía.

El ahorro de leña total producido por la tecnología en el istmo centroamericano, desde 1984, se resume en el siguiente Cuadro.

Estimaciones del ahorro de leña Proveniente del uso del horno tipo Colmena ICAITI, en Costa Rica, en toneladas

Base: pruebas con unidades demostrativas y unidades de 13 m^3

AÑO	Hornos de 49 m^3			Hornos de 13 m^3			
	Cantidad de hornos	Consumo anual de leña	ahorro leña. estim.	Cantidad de hornos	Consumo anual de leña	ahorro leña estim.	AHORROS por año / acumulado.
1984	3	2241	194	--	---	----	194 194
1985	2	1494	129	10	2650	229	552 746
1986	---	---	---	4	1060	92	644 1390
1987	---	---	---	2	530	46	690 2080
	5			16			

4.6 Evaluación económica.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación económica efectuada en la unidad demostrativa y en seis de las unidades de 13 m^3 descritas anteriormente. En Anexos A-7, A-8 y A-9 se incluye costo detallado para cada sistema, así como su historial.

Concepto	SISTEMA		
	Unidad Demostrat.	Cía. Lachner y Sáenz	Aserradero Diafragma
Número de hornos	1	2	4
Capacidad nominal, m^3	49	13	13
Inversión inicial, CA$	1 800	2 250	4 500
Costo prod/año, CA$	7 286	6 584	10 955
Prod. anual carbón, t	92.4	90	198
Ingresos ventas carbón CA$/año	9 240	9 000	19 800
Utilidades (ingresos anuales menos costos anuales de producción)	1 954	2 416	8 845
Rentabilidad sobre inversión inicial %	108	107	196
Período simple de recuperación, años	0.93	0.94	0.51

En el cuadro anterior se observa que las utilidades obrenidas por cada empresa permiten recuperar la inversión en períodos menores a un año, y que se logra una tasa de rentabilidad superior al interés bancario

Esto da una idea del potencial económico que representa esta actividad, aunque en el análisis anterior no se consideró el ingreso por venta de líquido piroleñoso. Se nota también que las utilidades crecen conforme aumenta el número de hornos y que, si se utilizan desperdicios de aserradero, disminuye el costo de producción.

4.7 Consideraciones finales

Análisis del impacto de la tecnología en Costa Rica

Los beneficios económicos, técnicos y sociales obtenidos por la comunidad en donde se utilizan los hornos Colmena tipo ICAITI son una medida del impacto de la tecnología.

El beneficio económico se mide por la utilidad económica de la empresa, del empleo generado, del uso de materias primas y materiales locales, etc. Por su parte el beneficio técnico se estima por el ahorro de leña y la calidad del carbón comparada con la del producido por los métodos tradicionales. Finalmente, el beneficio social se establece por la posibilidad de mejorar la calidad de vida (habitación, educación y alimento) del núcleo familiar del operario del horno.

Puede resaltarse que el potencial económico y técnico, por horno y año, en promedio, se aproxima a lo siguiente:

		CA$
-	Utilidades	1 800
-	Empleo generado	2 080
-	Costo materia prima (madera)	1 480
-	Costo materiales/construcción	1 000
-	Ahorro de leña/año	36 t

=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|=|

5. HORNO METALICO PORTATIL TIPO ICAITI

5.1 Desarrollo de la solución

Se hizo una revisión bibliográfica para conocer las alternativas tecnológicas más adecuadas al medio centroamericano, atendiendo a los recursos disponibles y a la aceptación que podría esperarse. De la revisión bibliográfica destacó el horno metálico T.P.I. (Anexo A-18) desarrollado en Inglaterra y que tiene las siguientes características:

- Forma cilíndrica compuesta por dos secciones de 2.3 m de diámetro x 0.9 m de alto, y con una cubierta cónica;
- Cuatro chimeneas y ocho canales para control de la carbonización;
- Capacidad nominal de 8 m^3; carga de leña de 7 m^3; ciclo de operación de 2 a 3 días;
- Producción de 0.5 t de carbón vegetal/tanda con un rendimiento entre 18 a 26% (base seca);
- Operación fácil a cargo de dos operarios;
- No tiene sistema de recuperación de subproductos líquidos;
- Inversión alta, en comparación con los hornos de ladrillo de la misma capacidad;

Previous Page Blank

- Vida útil de 3 años;

- La fabricación de las secciones cilíndricas requiere de equipo y mano de obra calificada

5.1.1 Diseño escogido para pruebas a pequeña escala

Se estimó conveniente no reproducir ninguno de los modelos conocidos, sino más bien, desarrollar un modelo diferente (diseño y funcionamiento) capaz de recuperar una fracción de los gases condensables que los modelos convencionales despiden a la atmósfera.

5.1.2 Resultados de las pruebas

Inicialmente se construyó un horno metálico a partir de un tonel de 54 galones, al cual se adaptó una cubierta cónica con chimenea, fabricada de hierro negro.

Los resultados con este equipo fueron los siguientes:

- Ciclo de operación 5 h
- Carga de leña 18 kg
- Producción de carbón 4.5 kg

Posteriormente se conectó al equipo anterior un sistema sencillo de condensación hecho de tubería galvanizada de 5 cm de diámetro (2") instalada dentro de un tonel de 54 galones, equipado con salidas para recuperar el alquitrán condensado.

En las pruebas hechas se logró recuperar alrededor de medio de líquido piroleñoso con alquitrán, en cada tanda.

5.2. El horno - primer modelo

El horno metálico tipo ICAITI se diseñó a partir de la información obtenida en las pruebas de pequeña escala hechas con el horno fabricado con un tonel de 54 galones (Ver sección 5.1.2).

5.2.1 Selección del diseño ICAITI

Por lo general, los hornos metálicos son de pequeña capacidad y esto se debe a que es necesario establecer un compromiso adecuado entre el costo y el manejo. El horno ICAITI es pequeño; el primer modelo del horno consistía en dos secciones cilíndricas, una cubierta cónica con chimenea y un baño condensador; su volumen nominal era de 5 m^3 (Ilustración 4).

Tipos de lámina usada en primer modelo horno metálico

	espesor	tipo
- Secciones cilíndricas	1/8"	hierro negro
- Cubierta cónica y chimenea	1/8"	hierro negro
- Cubierta baño condensado	1/16"	hierro negro

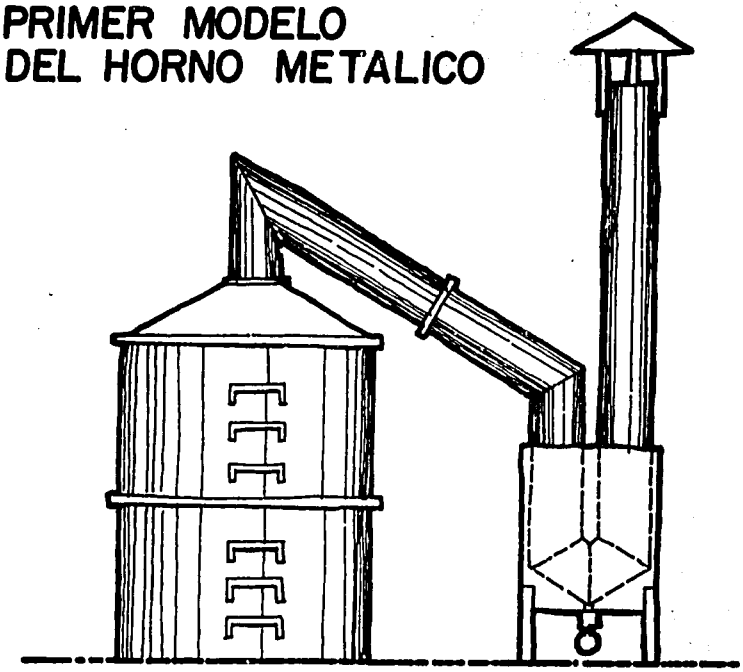
5.3 Operación del horno

5.3.1 Armado y carga del horno

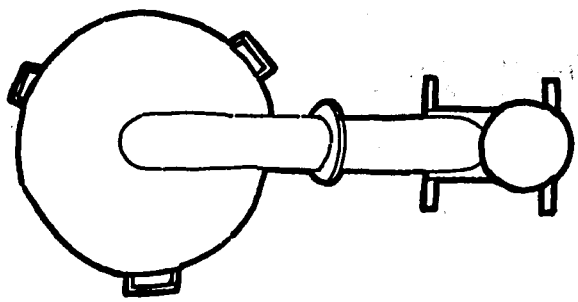
Se coloca la sección cilíndrica inferior sobre los canales de encendido (Ilustraciones 5 y 6) que previamente se han llenado con material seco (hojarasca, ramitas, etc.); se llena esta sección con leña. Se coloca encima la segunda sección y se llena; luego se coloca la cubierta cónica hasta completar el armado del horno. Antes de encender, es nece-

Ilustración 4

PRIMER MODELO
DEL HORNO METALICO



ELEVACION



PLANTA

sario sellar con barro los zonas de contacto entre las secciones cilíndricas, la cubierta cónica y la chimenea.

5.3.2 Encendido y secado

Se aplica fuego al material colocado en los canales de encendido, tratando de obtener una distribución uniforme de calor en la base del horno. Así se logra establecer un frente de combustión en la sección cilíndrica inferior, que seca la leña próxima y eleva la temperatura interna.

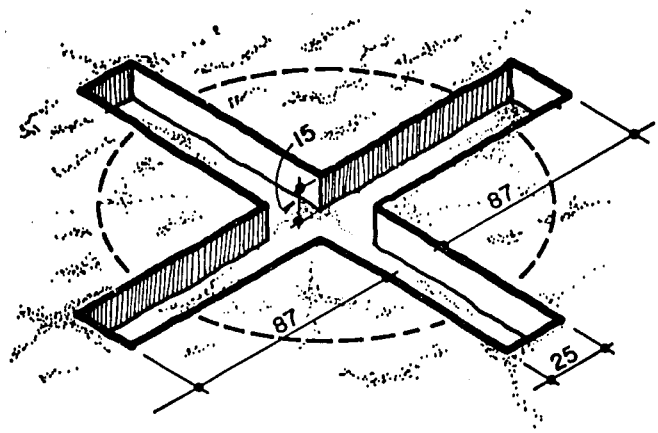
5.3.3 Precarbonización

Para que se inicie la precarbonización o carbonización inicial, se reduce ingreso de aire en los canales de encendido, tapando las entradas de aire con lodo; se usa un leño de 8 cm de diámetro para producir una abertura más pequeña que la original (Ilustración 7). Esta operación reduce la temperatura del horno y transforma las brasas de la combustión inicial en un frente de carbonización. La etapa final del proceso ocurre a una temperatura ligeramente menor y ocupa aproximadamente el 80% del ciclo de operación.

5.3.4 Carbonización

Se procede a reducir más el ingreso de aire. El propósito es disminuir el tiro de la chimenea para que el frente de carbonización progrese lentamente y, al igual que en la etapa anterior, la reducción de ingreso de aire se logra tapando con barro las aberturas y practicando una más pequeña, de 1.5 cm de diámetro, mediante un leño apropiado.

El proceso de carbonización se puede considerar completo cuando el material de la sección cilíndrica superior ya ha descendido a la sección cilíndrica inferior.



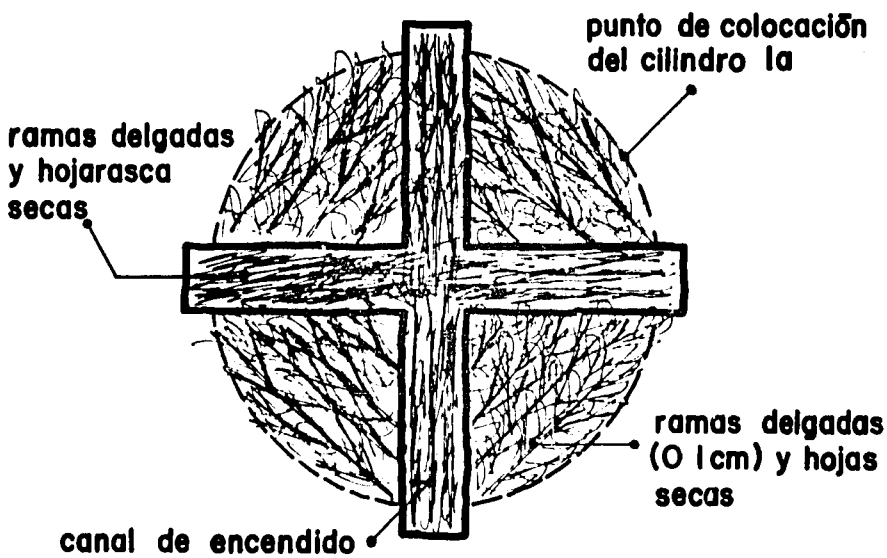


Ilustración 5
CANALES
DE ENCENDIDO

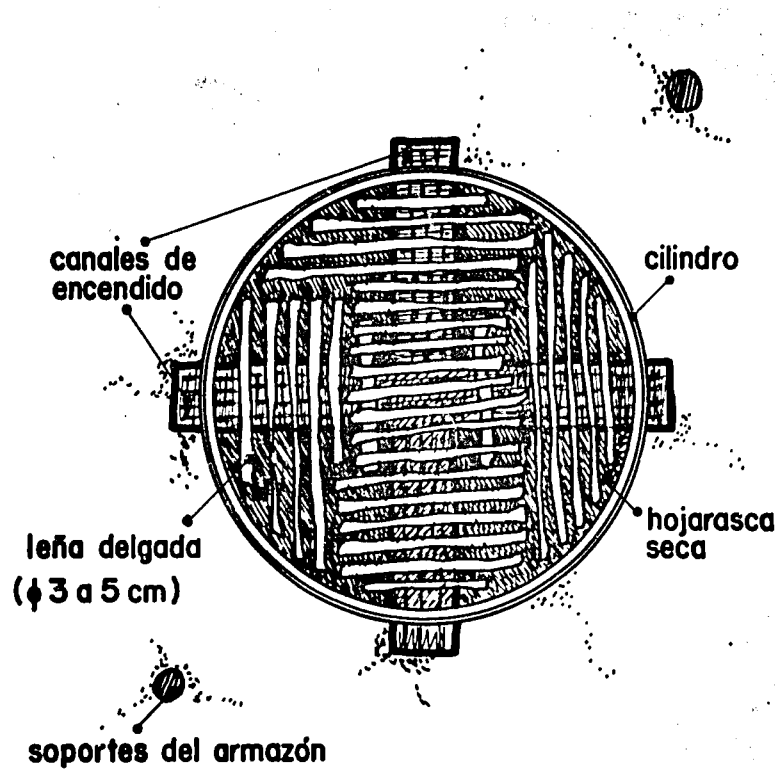
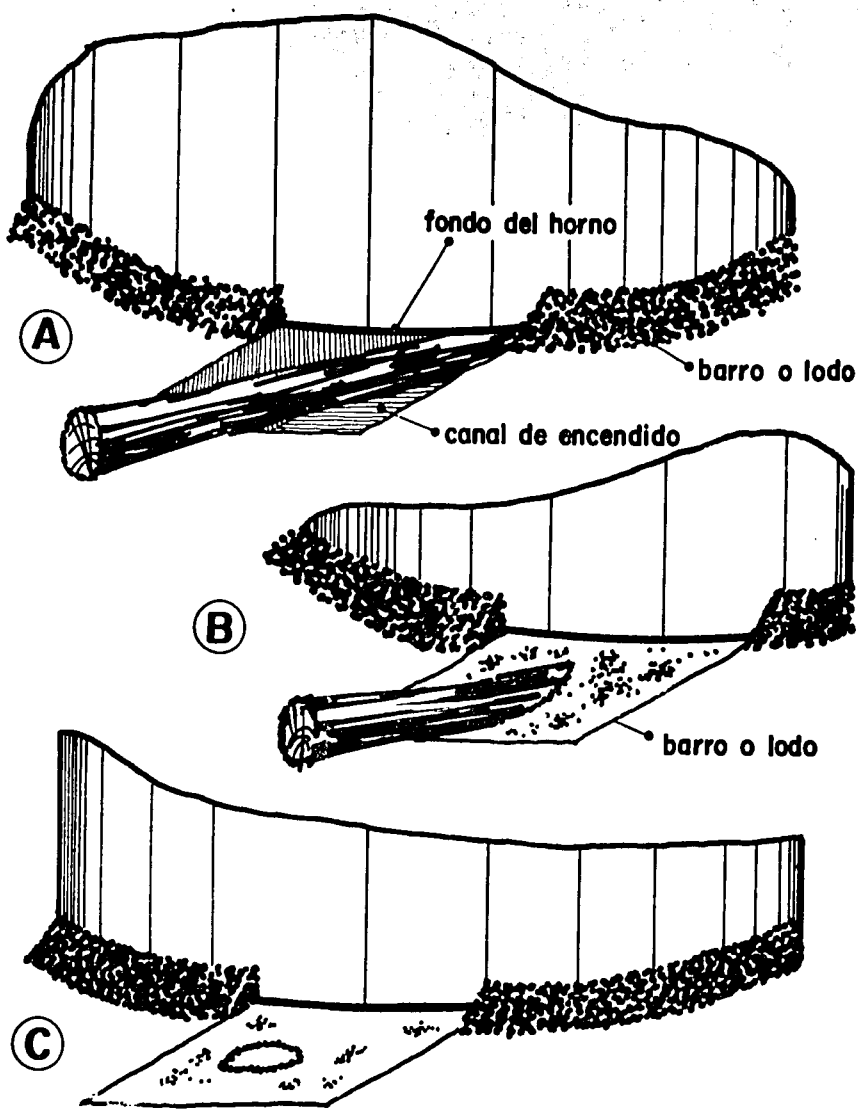


Ilustración 6
COLOCACION DE
CILINDRO INFERIOR



A) colocar leña en el canal
B) tapar boca del canal con lodo o barro
C) retirar con cuidado el leño

Ilustración 7
REDUCCION DE INGRESO DEL AIRE

Es notorio, además, un cambio en las propiedades del humo despedido por la chimenea, el cual se torna ligeramente azulado y con poco de olor a alquitrán.

El proceso completo de carbonización en condiciones normales empleando leña presecada y de 15 a 30 cm de diámetro ocupa 26 horas después del encendido.

5.3.5 Enfriamiento y descarga del horno.

Para iniciar el enfriamiento el horno se sella con barro, a fin de evitar el ingreso de aire, que podría reducir el carbón a cenizas. Esta operación debe realizarse con sumo cuidado. El enfriamiento tarda alrededor de 20 a 25 horas.

La descarga se realiza hasta que la temperatura interior del horno haya descendido suficientemente y la pared exterior esté fría. Para descargar el carbón es necesario desarmar completamente el horno hasta tener acceso a la sección cilíndrica inferior; a continuación puede iniciarse el empacado del carbón.

5.3.6 Operación del condensador

El condensador recupera el líquido piroleñoso y el alquitrán mediante el enfriamiento de los gases generados en el proceso; el condensador tiene un sistema de drenaje por el cual se obtiene continuamente ambos productos. Luego, el alquitrán, que es pesado, se separa del líquido piroleñoso por decantación.

El operador únicamente tiene que verificar el nivel del agua de enfriamiento y abrir una válvula de descarga periódicamente, para atender esta fase de la producción en el horno.

5.4 Evaluación técnica

5.4.1 Primera unidad (demostrativa)

Con el objeto de evaluar el diseño inicial del horno metálico, se instaló una unidad experimental demostrativa de 5 m^3 de capacidad nominal en Bonilla de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica. Se fabricó en un taller equipado para fabricar maquinaria; se ocuparon 30 días-hombre (un soldador) y el costo total resultó ser de 1950 CA$ (1984).

Como pruebas, se efectuaron 18 tandas de carbonización durante los meses de Enero a Abril de 1985, con maderas semiduras de bosque tropical húmedo, presecada durante dos meses hasta un contenido del 40%. El horno se operó según el procedimiento ya descrito, y se obtuvieron los siguientes resultados promedio, por tanda:

Cantidad de leña, kg	2 500
Cantidad de leña, m^3	4
Producción de carbón vegetal, kg	200
Producción de líquido piroleñoso, L	250
Tiempo total de operación, días	2
Rendimiento en peso (base seca) %	13.3
Mano de obra utilizada, horas-hombre	20
Indice recuperación líq. piroleñoso (kg líquido condensado/kg de madera)	0.1

De los valores del cuadro anterior, se puede obtener las siguientes conclusiones:

- El rendimiento en peso (base seca) es considerablemente bajo, lo cual se debe en parte a que el proceso se desarrolla a alta temperatura y por lo cual se incrementa el rendimiento de recuperación de líquido piroleñoso.

- El índice de recuperación de líquido piroleñoso es alto comparado con el del horno estacionario de ladrillo y esto se debe principalmente a que todos los gases generados durante el proceso circulan por el baño condensador.

- La productividad del horno se aproxima a los 100 kg de carbón vegetal/día de operación ó a los 40 kg de carbón vegetal/m3 instalado, resultado que resulta bajo si se compara con el obtenido por el horno metálico T.P.I. (200 kg/día o 62.5 kg/m3 instalado).

Es necesario consignar algunos comentarios que se desprenden de las observaciones anteriores y de la forma en que funcionó el horno durante las pruebas.

- El horno metálico diseñado por ICAITI se caracteriza más como productor de líquido piroleñoso que como productor de carbón vegetal y, trabajándolo a plena capacidad se pueden conseguir 3 tandas/semana y una producción de líquido piroleñoso de 750 litros.

- A causa de que la carbonización ocurre a alta temperatura, la sección cilíndrica inferior se dañó después de 18 tandas.

- La operación del horno requiere bastante mano de obra, alrededor de 20 h-hombre/tanda.

5.5 El horno - modelo mejorado

Con el objeto de reducir mano de obra necesaria para la operación del horno (principalmente en las operaciones de armado y de carga) y mejorar su estructura para resistir la alta temperatura del proceso de carbonización, se dispuso modificar la forma del horno, y se diseñó con tres secciones cilíndricas de 1.55 m de diámetro x 0.91 de altura, cubierta

cónica con chimenea, baño condensador y capacidad nominal de 5 m^3. En este modelo se usaron los siguientes tipos de lámina:

	Espesor	Tipo
- Sección cilíndrica inferior	3/16"	hierro negro
- Cubierta cónica y secciones media y superior	1/18"	hierro negro
- Chimenea y baño condensador	1/16"	hierro negro

El horno demostrativo se construyó en un taller de la Ciudad de Guatemala; se ocuparon 60 días-hombre (cuatro soldadores), con un costo total de CA$ 1616 (mayo 1985). La unidad se instaló en Quetzaltenango, Guatemala (Ver Anexos A-14, A-15 y A-16). Las pruebas consistieron en 34 tandas de carbonización durante los meses de Mayo a Septiembre de 1985, con madera de encino, pino y ciprés presecada bajo techo durante un mes, a 40% de humedad.

Los resultados promedio/tanda obtenidos (Ver Anexo A-16) son los siguientes:

Cantidad de leña, kg	1 320
Cantidad de leña, m^3	2.7
Producción carbón vegetal, kg	128
Producción de líquido piroleñoso, l	147
Tiempo total de operación días	2
Rendimiento en peso (base seca), %	16.4
Mano de obra utilizada, horas-hombre	11.4
Indice de recuperación de líquido piroleñoso (kg líq. condensado/kg de madera) %	10.9
Producción alquitrán, litros/tanda	1.0

Calidad del carbón vegetal Características	Ciprés	Encino
Humedad %	4.48	5.08
Carbono fijo %	90.39	93.57
Contenido de volátiles	1.96	3.52
Poder calorífico kcal/kg	7 442.00	6 716.00

Acerca de los valores anteriores se puede hacer los siguientes comentarios:

- El rendimiento (base seca) es ligeramente superior al encontrado anteriormente para el horno de Turrialba. La carbonización se desarrolló a alta temperatura, lo cual se confirma por el bajo contenido de volátiles del carbón producido.

- El índice de recuperación de líquido piroleñoso es similar al del horno de Turrialba; esto confirma la eficacia del condensador.

- La productividad promedio del horno se aproxima a 65 kg de carbón vegetal/día de operación (26 kg de carbón vegetal/m^3 instalado), resultado que es bajo y está determinado por el rendimiento del horno.

- La calidad del carbón producido lo hace adecuado como combustible en aplicaciones domésticas e industriales.

Y como consecuencia, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Las modificaciones efectuadas al diseño original han permitido carbonizaciones a alta temperatura, sin que resulte afectada la sección cilíndrica inferior del horno.

- La forma de operar el horno no ha sido controlada totalmente por los operarios, ya que la productividad lograda durante la fase inicial no se ha mantenido.

El ahorro de energía por horno se mide por la cantidad de leña ahorrada al emplear métodos más eficientes de carbonización. Si se toma como base un rendimiento de 16.8% en peso para el método tradicional, el ahorro potencial de leña del horno metálico ICAITI se estima en 13.3-16.8 = -3.5 para el caso de Turrialba, y en 16.4 - 16.8 = -0.4% para el caso de Quetzaltenango. Lo anterior se explica ya que el horno metálico ICAITI recupera una fracción elevada de líquido piroleñoso pero disminuye su rendimiento en carbón.

5.5 Evaluación económica

Siguen a continuación los resultados de la evaluación económica hecha a las unidades demostrativas de Turrialba y Quetzaltenango. En los Anexos A-14 y A-17 se incluyen costos detallados para cada unidad, así como su historial.

Concepto	Unidad demostrativa	
	Turrialba	Quetzaltenango
Número de hornos	1	1
Capacidad nominal/horno, m^3	5	5
Inversión inicial (Anexo A-14), CA$	1 960	1 610
Costo de producción *	1 254	700
Producción de carbón, kg	3 600	4 400
Ingresos por venta CA$	657	180
Utilidades (ingresos anuales menos costos anuales producción)	607	520

(*) corresponde a pruebas demostrativas.

Según el cuadro anterior la operación del horno metálico no resultó rentable en ninguno de los dos casos a causa de que la venta del líquido piroleñoso no fue efectiva (caso de Turrialba). En Quetzaltenango se dificultó la venta de carbón de pino y ciprés dada su escasa demanda; y no fue posible comercializar el líquido piroleñoso.

5.7 Conclusiones y recomendaciones sobre el horno metálico.

5.7.1 Conclusiones

- El horno metálico produce considerable cantidad de líquido piroleñoso por tanda, pero esto reduce el rendimiento en carbón.

- No fue rentable operar el horno metálico en las condiciones encontradas del mercado.

- El carbón producido es de calidad aceptable para aplicaciones domésticas e industriales.

- En Guatemala se desconoce el uso como preservante de madera del líquido piroleñoso, por lo cual no existe demanda.

5.7.2 Recomendaciones

- Es necesario establecer la demanda de los productos antes de iniciar la producción y venta de los mismos.

- Investigar más a fondo las cualidades que tiene el líquido piroleñoso como preservante de madera, a fin de posibilitar su comercialización, con lo que se podría mejorar la rentabilidad del horno metálico.

- Orientar el diseño del condensador ICAITI hacia la recuperación de alquitrán sólido, el cual tiene aplicación directa como combustible, con lo que se podría mejorar la rentabilidad del horno metálico.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

El carbón vegetal producido por los hornos ICAITI (Colmena y metálico), es de calidad adecuada para aplicaciones domésticas e industriales.

El horno Colmena ICAITI representa una adecuada oportunidad de inversión para las empresas interesadas en producir carbón vegetal a partir de desechos forestales.

Las utilidades obtenidas de los hornos Colmena ICAITI aumentan conforme crece el número de hornos instalados y cuando el costo de la materia prima es bajo.

El horno metálico portátil ICAITI es un excelente productor de líquido piroleñoso (índice de recuperación del 10% en peso), pero las utilidades obtenidas son negativas si no se puede comercializar efectivamente el líquido obtenido. (Casos de Turrialba en Costa Rica y de Quetzaltenango en Guatemala).

En Guatemala se desconoce el uso del líquido piroleñoso como preservante de madera, y eso dificulta su comercialización.

Se recomienda proseguir con la investigación para mejorar el horno tradicional y beneficiar a los pequeños productores.

Se recomienda difundir la tecnología del carbón vegetal UNICAMENTE en empresas y/o países que produzcan residuos forestales, para no propiciar ningún efecto indirecto de deforestación.

ANEXOS

Previous Page Blank

ANEXO A-1. Aspectos técnicos de la carbonización

Carbonización:

Cuando la madera u otro compuesto orgánico es sometido a un calentamiento en presencia de un suministro limitado de oxígeno, ocurre una descomposición del material ligno-celulósico* que da como productos una fase sólida (carbón vegetal) y una fase gaseosa compuesta por una fracción condensable (líquido piroleñoso) y una fracción no condensable (GNC).

El oxígeno presente (en el aire) permite la combustión de una parte de la madera, combustión que provee la energía requerida por el proceso (suministro interno de energía).

Cuando el proceso anterior ocurre en ausencia de oxígeno (pirólisis), la energía requerida proviene del exterior.

La carbonización se divide en cuatro etapas de acuerdo a la temperatura:

- Secado: Evaporación del agua higroscópica, el agua absorbida y el agua químicamente ligada de la madera (100 a 200°C).
- Precarbonización, producción de ácido acético, metanol, agua y gases no condensables (180 a 300°C)
- Carbonización Inicial: Producción de gases combustibles (CH_4, CO, etc.) y alquitrán insoluble (300 a 400°C).
- Carbonización final: Producción de carbón y pequeñas cantidades de hidrógeno (por arriba de 500°C).

Productos de la carbonización

Carbón Vegetal

El carbón vegetal es un sólido orgánico, $C_{16}H_{10}O_2$, constituído por carbono, hidrógeno y oxígeno.

Su composición elemental varía según el tipo de madera, el proceso utilizado para obtenerlo, la temperatura de opera-

(*) Composición media: 44.6%, Celulosa; 29.4% Hemicelulosa; 23.6% Lignina y 4% de extractivos.

Previous Page Blank

ción etc., pero en términos generales se sitúa dentro de los siguientes límites:

- Carbón	50 al 96%
- Hidrógeno+Oxígeno (material volátil)	10 al 30%
- Cenizas	0.5 al 10%
- Humedad	4 al 8%

El contenido de carbono (carbono fijo) determina su poder calorífico, el cual varía entre 6500 y 8000 kcal/kg.

Su estructura amorfa fija una relación masa/volumen (densidad aparente) relativamente baja, del orden 180 a 300 kg/m3; su calidad se especifica con base en las características anteriores, que determinan, en cada caso, sus usos potenciales.

Sus aplicaciones principales son: combustible doméstico (cocción de alimentos) e industrial, en una gran variedad de procesos (fabricación de cemento, reductor en acerías, etc.), y materia prima para fabricación de productos de caucho, tintes, etc.

Líquido piroleñoso

El líquido piroleñosos está constituido por:

1. La fase acuosa, de ácido piroleñoso, que es un líquido cuyo color va de café pálido a obscuro, y que contiene principalmente ácido acético, metanol y alquitrán soluble.

2. La fase aceitosa, de alquitrán insoluble, líquido de color negro, denso y viscoso.

3. Los gases no condensables (GNC), una mezcla de dióxido de carbono, metano, hidrógeno y otros constituyentes hidrocarbonados, con un poder calorífico de 4 kcal/m3.

Factores que influyen en los rendimientos y en la calidad de los productos de la carbonización.

El rendimiento y la calidad de cada producto formado durante la carbonización varían con la temperatura, presión y duración del proceso, la concentración de oxígeno en el aire, la especie de madera y sus características (contenido de carbono, humedad, densidad, etc.). En la práctica, generalmente es posible fijar las condiciones de operación antes mencionadas a excepción de la temperatura, la cual varía principalmente con el tipo de proceso, tipo y operación del horno, condiciones ambientales, etc.; su efecto sobre la calidad y rendimiento de los productos de carbonización se ilustra en el cuadro No.1

Cuadro 1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD, EN BASE SECA

Temp. Carbonización °C	Rendimiento en peso %			Análisis inmediato carbón Vegetal %				Composición Química del GNC % VV				Composición Química Líquido condensado % VV		
	Carbón	Líquido	Gas	Carbono Fijo	Materia Volátil	Ceniza	Humedad	CH_4	C_2H_6	CO	CO_2	Metanol	Acido Acético	Alquitrán
450	32.9	43.7	23.4	75.0	21.0	3.9	4.2	4.3	1.0	42.4	51.6	3.1	9.8	11.2
550	28.1	46.7	25.1	86.5	10.1	3.3	3.0	6.3	1.9	43.2	47.0	3.3	11.2	10.3
700	27.6	46.3	26.1	89.8	7.2	2.9	2.4	7.7	2.6	48.4	38.3	2.63	9.1	13.3

FUENTE: CETEC, Pruebas con eucalipto Grandis de 5.5 años.

Los valores del Cuadro 1 demuestran que el aumento de temperatura representa un incremento ligero (8% en promedio) en el rendimiento del líquido y del gas, y una disminución mayor (16%) del rendimiento del carbón. Asimismo, la calidad del carbón producido varía considerablemente mientras que el contenido de carbono fijo aumenta.

Lo anterior se comprueba al considerar que la materia volátil expulsada, O_2 y H_2, aparece en los gases no condensables, en los cuales los contenidos de CH_4, C_2H_6 y CO aumentan simultáneamente, con el consecuente aumento del poder calorífico. La composición del líquido piroleñoso no cambia significativamente con el alza de la temperatura.

ANEXO A-2. Análisis de carbón vegetal

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL (ICAITI)

COSTA RICA
EL SALVADOR
GUATEMALA
HONDURAS
NICARAGUA

CENTRAL AMERICAN RESEARCH INSTITUTE
FOR INDUSTRY
Avenida La Reforma 4-47, Zona 10
GUATEMALA, C. A.

APARTADO POSTAL 1552
Cables: ICAITI
Telex: 5312-ICAITI-GU
TELEFONOS: 310631 y 317466

INFORME DE LABORATORIO

Nombre: ICAITI

Institución: PROYECTO

Dirección:

Muestra: Dice: Carbón Vegetal

Número de Registro: M-71650 a M-71652 M-71695 y M-71969

Fecha de Recibo: 11 JN 87

Inicio de análisis: 22 JN 87

Fecha de entrega: 14 JL 87

Condiciones de la muestra: tal como fue entregada

RESULTADO: En las muestras analizadas:

	Encino Tradicional M-71650	Encino Metálico M-71651	Ciprés Metálico M-71652	Carbón de Costa Rica M-71695	Pino de Costa Rica M-71969
Humedad	7.42%	5.08%	4.48%	4.17%	7.11%
Densidad	0.532	0.446	0.242	0.787	0.180
Volátiles	3.51%	3.52%	1.96%	2.52%	0.66%
Ceniza	3.38%	1.01%	1.91%	2.71%	0.60%
Carbono fijo por diferencia	88.94%	90.39%	93.57%	93.22%	91.63%
Poder calórico	12897 BTU/pound	12115 BTU/pound	13425 BTU/pound	14243 BTU/pound	11220 BTU/pound

Observaciones:

Analizado por: Enrique Hernández

Jefe de Laboratorios:

Previous Page Blank

ANEXO A-3 **Consumo de leña para producción de carbón vegetal en Centroamérica, 1983.**

	Oferta carbón (Tcal)	Eficiencia carboneras (%)	Consumo de leña (Tcal)	Tasas de crecimi.	Poder caloríf. (kcal/kg)
Costa Rica	93	38.0	245	2.0	6 500
El Salvador	14	42.0	33	-9.6	6 500
Guatemala	176	30.0*	587	-13.0	6 500
Honduras	51	30.5	167	2.1	5 000
Nicaragua	151	32.4	446	5.9	7 000
Panamá	4	29.5	14	-5.4	7 500
Total	489	32.6	1 492	-3.1	

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

* Cifra estimada.

ANEXO A-4. **Precios del carbón vegetal a granel, Costa Rica**

Años	¢/kg	CA$/kg	CA$/Tonelada Métrica
1984	6	0.11	110
1985	7	0.12	120
1986	8	0.13	130

Fuente: Delegación del ICAITI en Costa Rica

Previous Page Blank

ANEXO A-5. Dibujos y Lista de materiales de construcción para los hornos tipo Colmena ICAITI

I) Planos del Horno.

Previous Page Blank

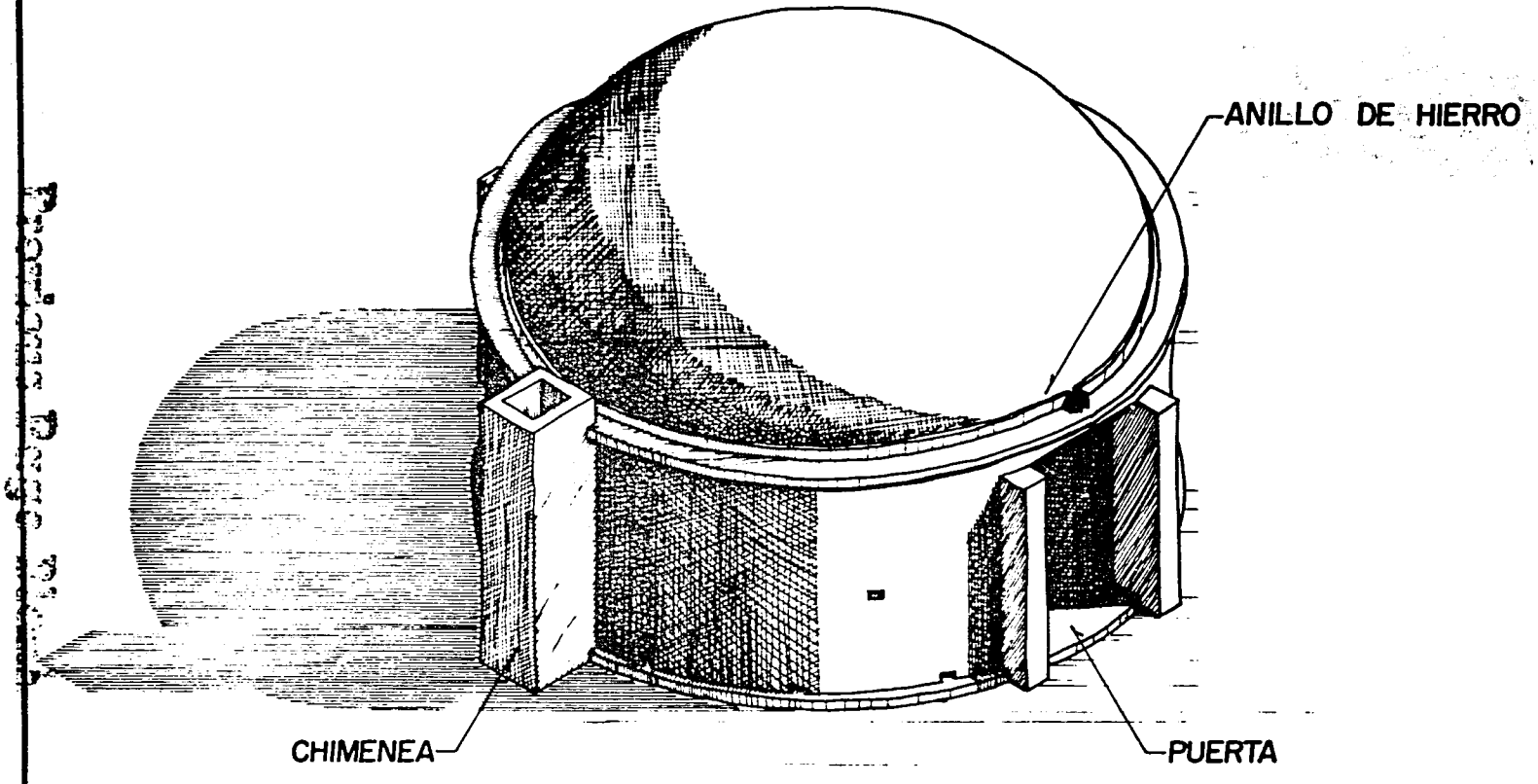
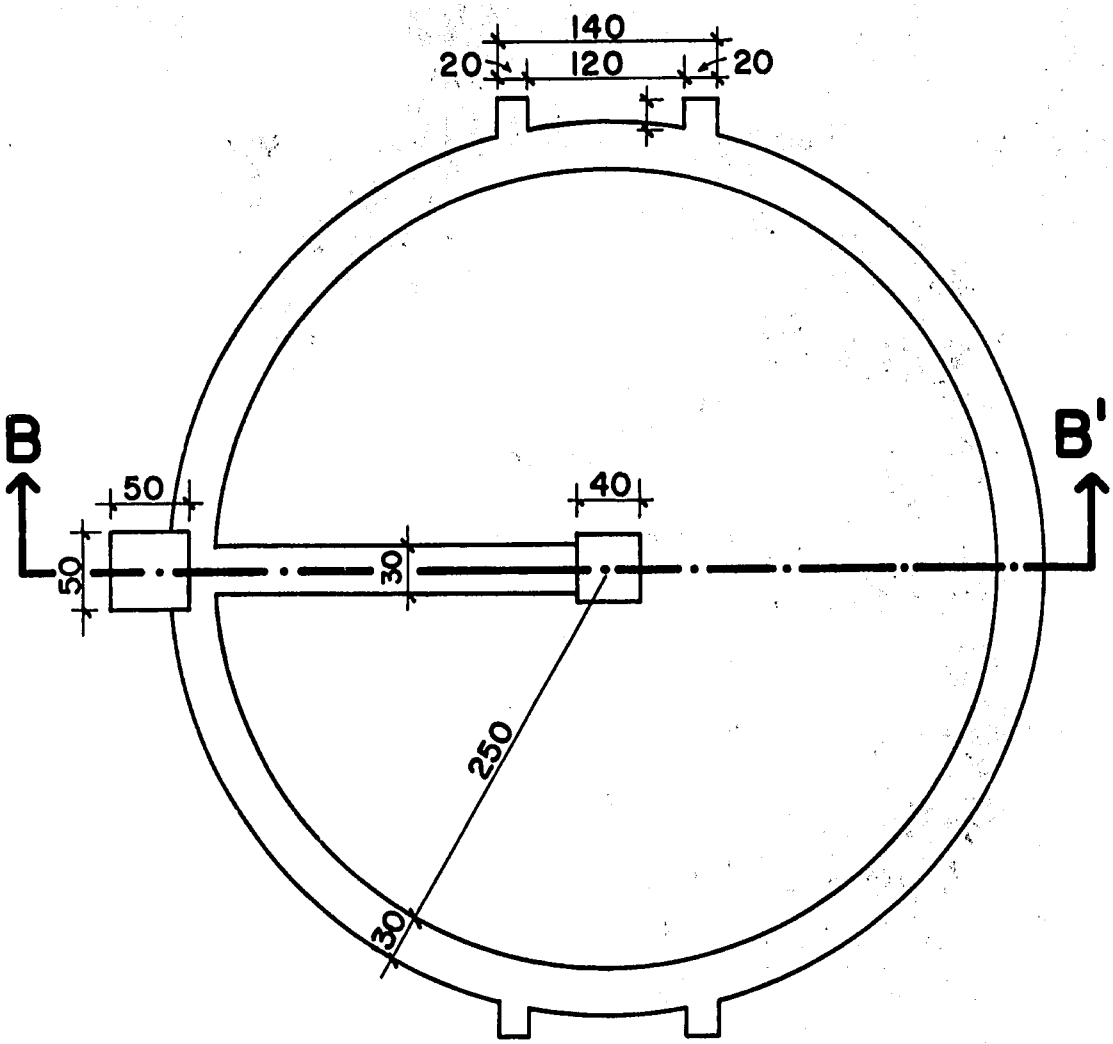
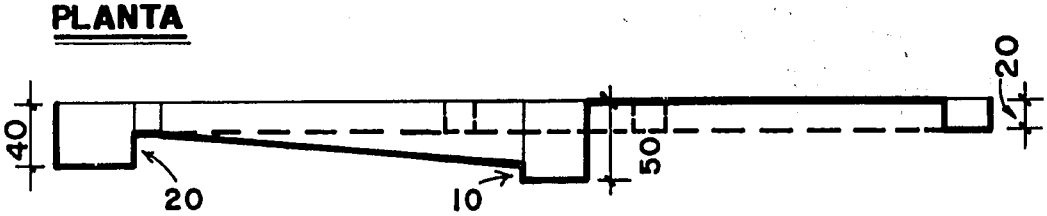


FIGURA 1 ASPECTO GENERAL DEL HORNO. 49 m^3. no se muestra el condensador

fm



PLANTA



CORTE BB'

DIMENSIONES DE LA BASE DEL HORNO

centímetros

FIGURA 2

Propiedad de la UNAM

FIGURA 3

dm

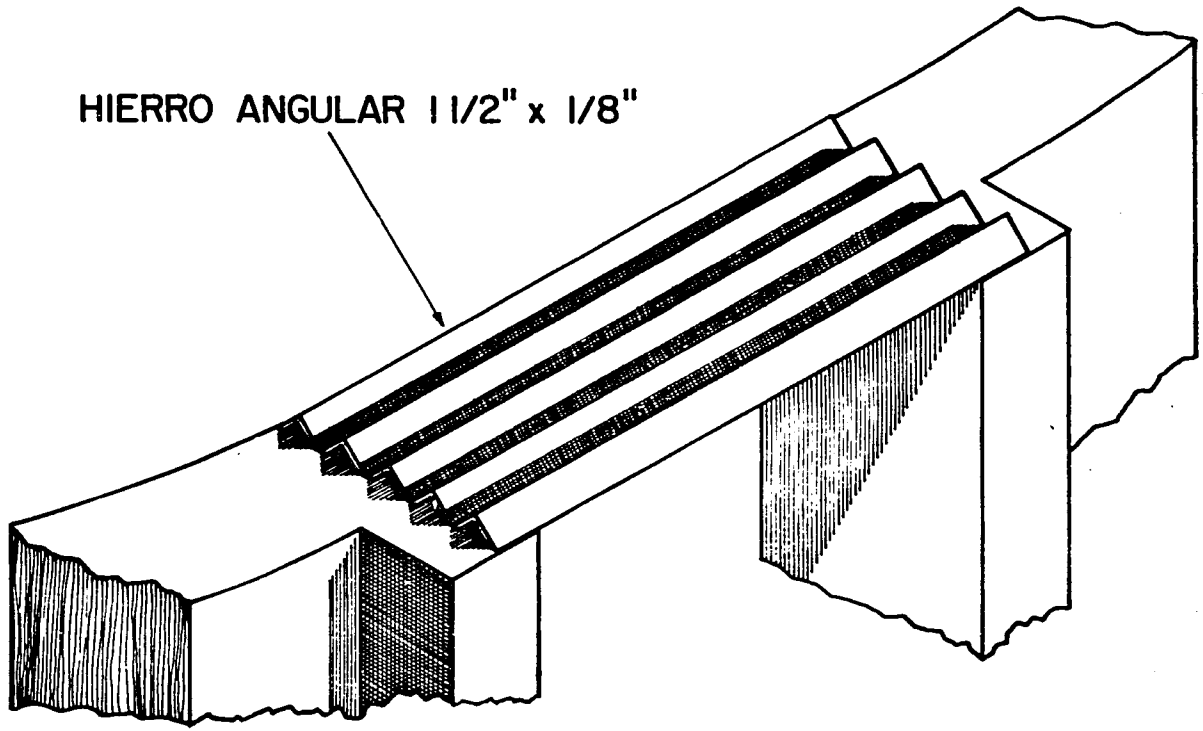


FIGURA 4 DINTEL DE LA PUERTA

dm

Propiedad de la UNAM

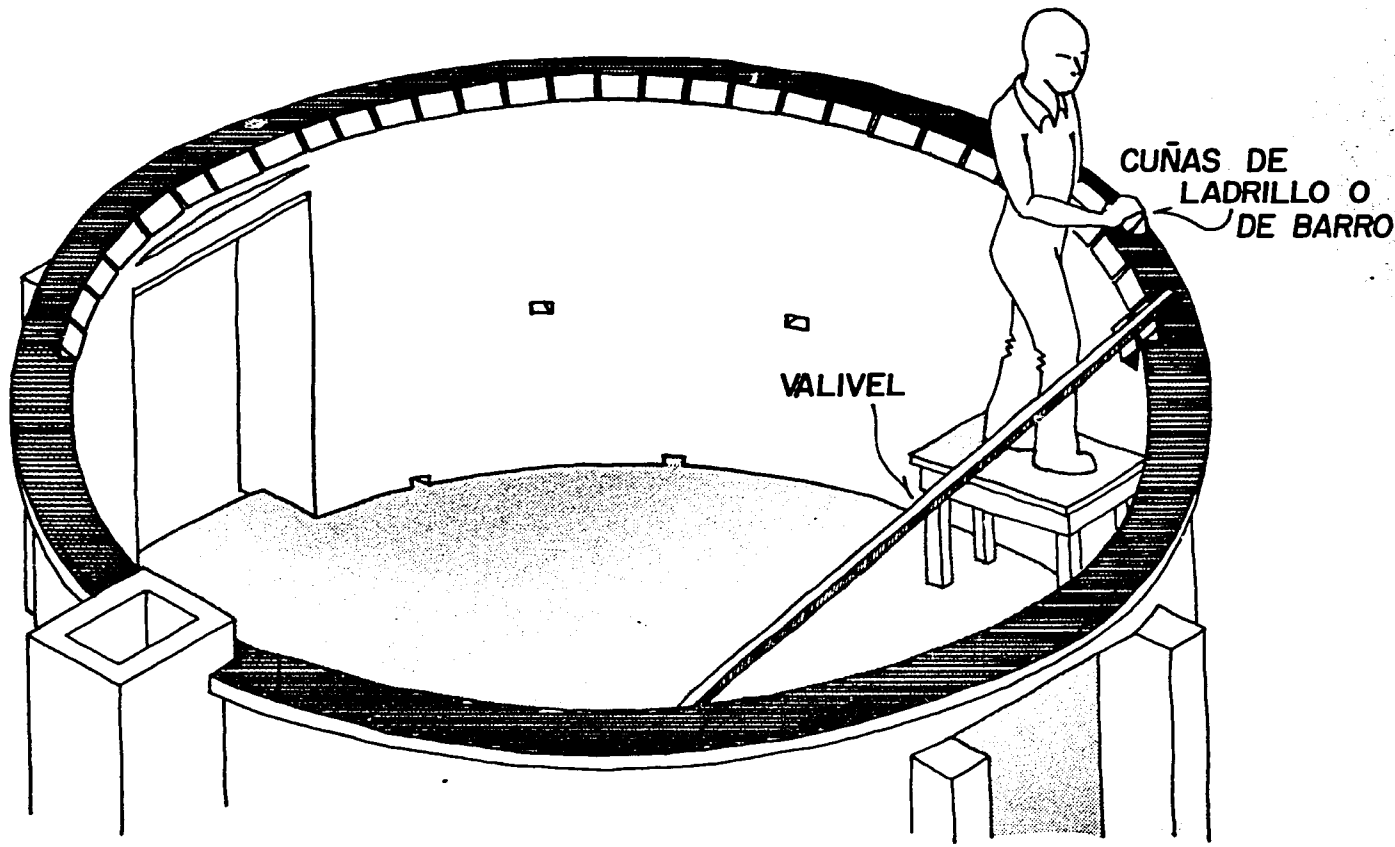
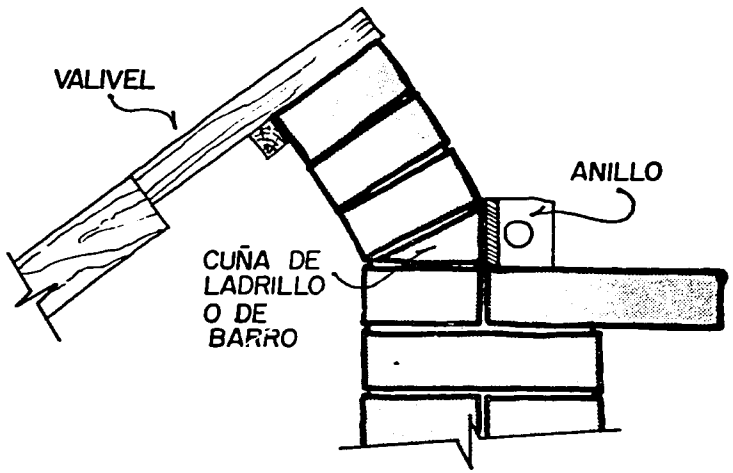


FIGURA 5 INICIO DE LA CUPULA.

fm

Propiedad Pedro Ríos



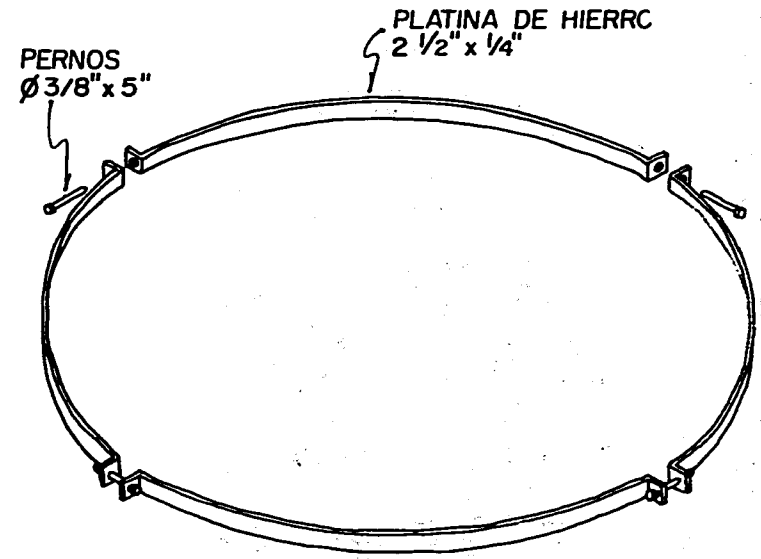


FIGURA 6 DETALLE DEL ASENTAMIENTO DE LAS HILADAS DE LA CUPULA Y MONTAJE DEL ANILLO.

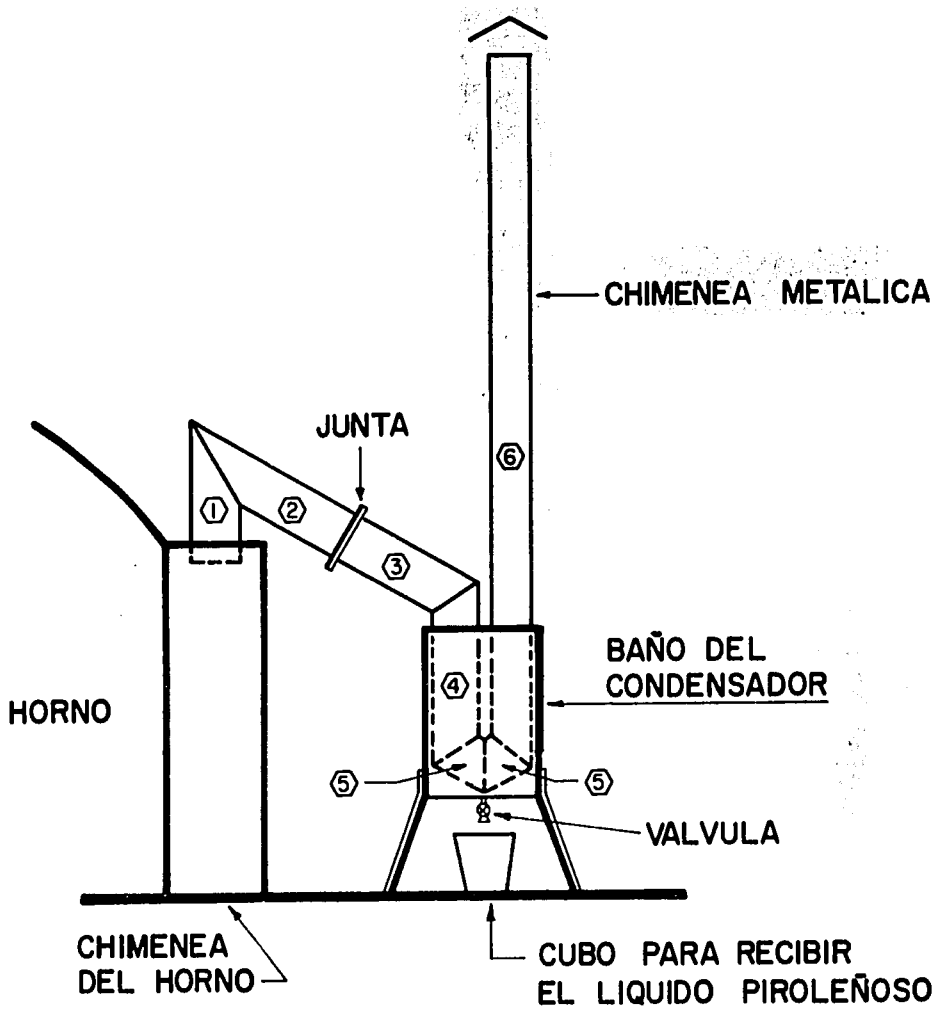
Proiecto Rural Rural

II) Materiales y costos de construcción Horno para carbón tipo Colmena ICAITI (año 1986)

Los materiales y costos de construcción en Costa Rica para el modelo de 49 m3 y para el modelo de 13 m3 se presentan a continuación:

	49 m3		13 m3	
MATERIALES	cantidad	Costo CA$	Cantidad	Costo CA$
Ladrillos de Barro cocido	9000	765	6000	510
Tubos barro cocido 30 cm	4	15	---	---
Arcilla (m3)	5	60	3	36
Arena de río (m3)	1.5	12	1	9
Piezas curveadas de tira plana hierro de 63x6.3mm	3	15	2	10
Pernos de tuerca de 9.6 mm	4	2	4	2
Angulares de hierro de 38x6.3 mm x 6.1 m	2	15	1	8
Parrilla de 50 x 50 cm hecha con varilla de acero de 3.2mm	1	16	---	---
COSTO TOTAL MATERIALES		900		575
Condensador y chimenea (sección IV de este anexo)	1	230	1	230
Mano de obra calificada	1	150	1	120
Mano de obra no calificada	2	120	2	80
Preparación sitio y galera	---	250		175
Supervisión puesta en marcha y entrenamiento	---	350		280
COSTO TOTAL		2000		1460

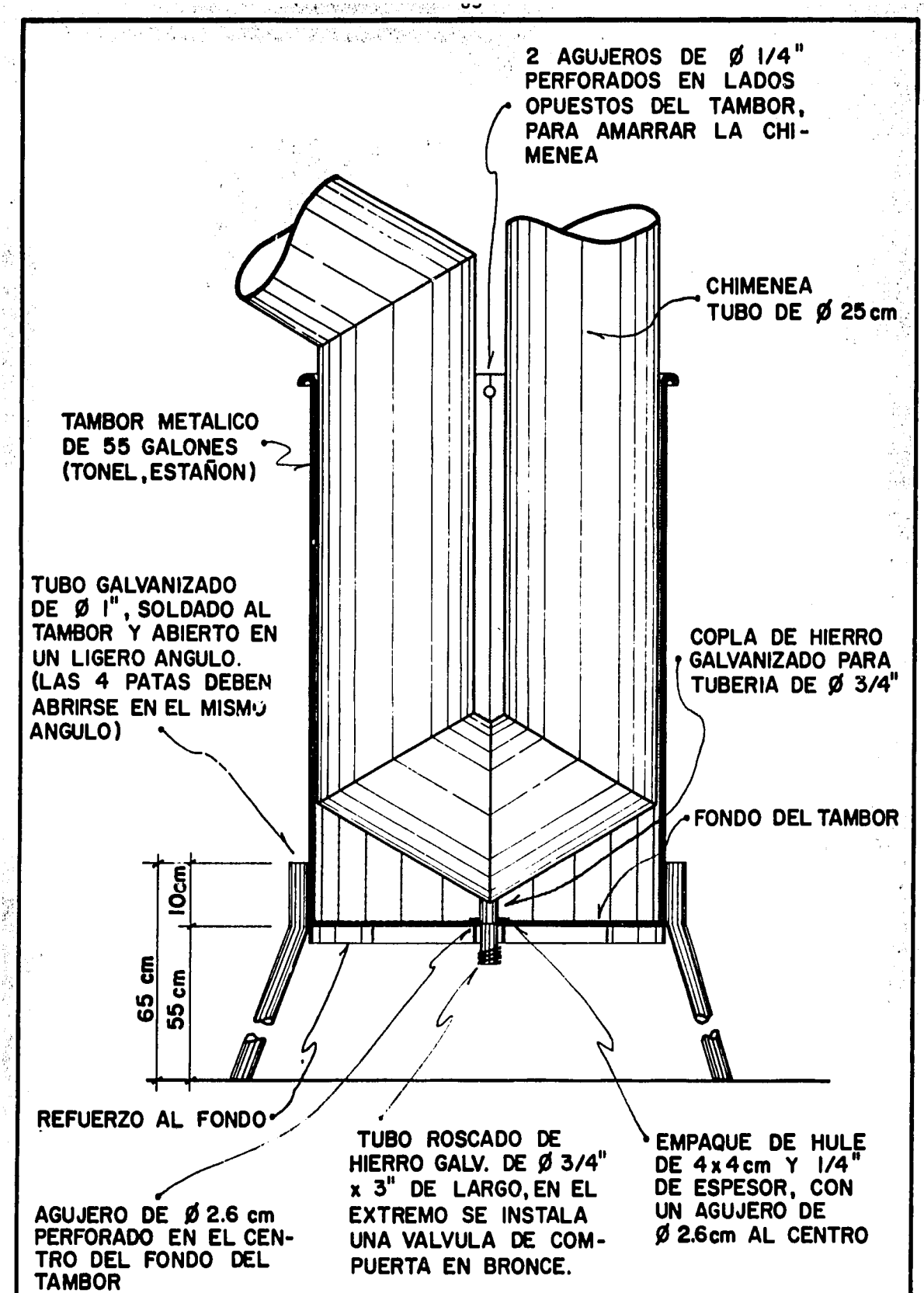
III) Planos del condensador y la chimenea, horno para carbón tipo Colmena ICAITI



INSTALACION GENERAL DEL CONDENSADOR Y LA CHIMENEA

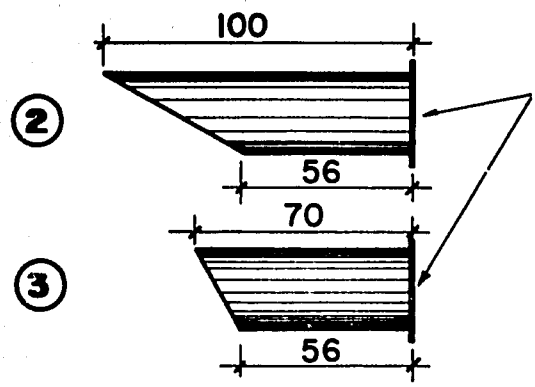
FIGURA 7

dm

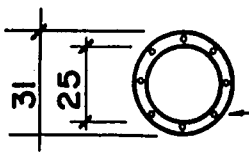


DETALLES DEL CONDENSADOR — FIGURA 8

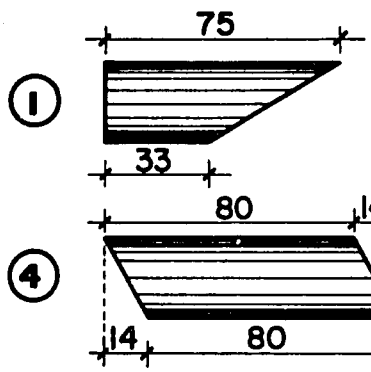
fm-dm



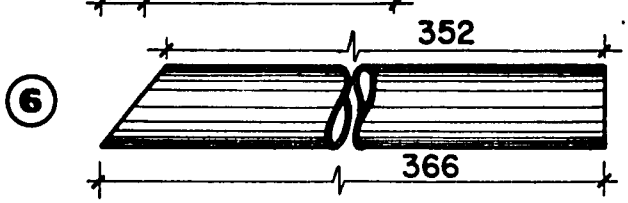
Reborde de lámina de hierro negro de 1/4". Estos rebordes se sueldan en los extremos de los tubos cuidando que la posición de los agujeros permita ensamblar según la figura 14. El empaque de asbesto grafitado debe cortarse con misma forma que el reborde.

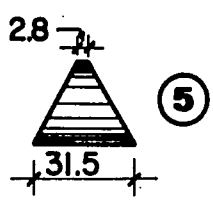


8 agujeros de 1/4" de diámetro en el reborde.

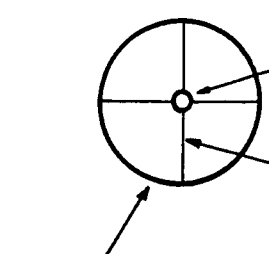


La tubería se obtiene al enrollar lámina de hierro negro de 1/16" de espesor y 77.5 cm de ancho, soldando la unión.





DETALLE DEL REFUERZO AL FONDO DEL TAMBOR



Pedazo de tubo de hierro de 1 1/2" de diámetro

Refuerzo, en tira plana de hierro de 1" x 1/8", punteado con soldadura al fondo del tambor.

Aro del fondo propio del tambor

NOTA: LAS PIEZAS NUMERADAS DEL 1 AL 6 SE CONSTRUYEN A PARTIR DE UN TUBO QUE SE CORTA SEGUN LAS DIMENSIONES MOSTRADAS.

DETALLES DE LOS CORTES EN TUBERIA PARA CHIMENEA Y CONDENSADOR

FIGURA 9

dm

IV) Materiales para condensador y chimenea, Horno para carbón tipo Colmena ICAITI

Se requieren los materiales siguientes, o sus equivalentes:

1 Tambor metálico (estañon, tonel) de 54 galones, en buen estado y abierto en uno de sus extremos

2 piezas de lámina de hierro negro de 1200 x 2400 x 1.6mm (4'x8'x1/16")

2.3 kg de electrodo para soldadura (5 libras) de 1/8", acero al carbono

1 tubo galvanizado de 1" de diámetro y 6 m de largo

1 pieza de faja de hierro negro, de 1080 x 25 x 3mm (43" x 1" x 1/8")

1 pieza de hule de 6mm (1/4") de espesor, 4 x 4 cm

1 válvula de compuerta, para tubería, de bronce, de 3/4"

1 trozo de tubería de hierro galvanizado, ("niple") de 3/4" de diámetro, de 7.5 cm (3") de largo, con rosca en ambos extremos

1 trozo de alambre calibre 16 (1.6 mm) de 1 m de largo, para amarre de la chimenea

2 piezas de lámina de hierro negro de 6 mm (1/4") de 35 x 35 cm

1 pieza asbesto grafitado de 3.2 mm (1/8") de 35 x 35 cm

1 sombrero metálico para chimenea, de 50 cm de diámetro

1 copla de hierro galvanizado, de 3/4".

ANEXO A-6. Hornos tipo Colmena ICAITI ya construidos en Costa Rica y Guatemala

TODOS LOS HORNOS ENUMERADOS FUERON CONSTRUIDOS CON ASISTENCIA TECNICA DEL ICAITI.

No.	Ubicación	Usuario	Cantidad Hornos	Capacidad m3	Costo Total (CA$)	Inició Operac.	Estado Actual
COSTA RICA:							
1	Coris/Cartago	Carlos Vargas	1	49	1800	9/83	Operando
2	Bananito/Limón	Max Koberg	2	49	3600	1/84	Operando
3	Hojancha/Guanacaste	Cmté Agrícola Cntnal	1	49	1800	1/85	Operando
4	Siquirres/Limón	Lachner y Saénz	4	13	4500	4/85	Operando
5	Moravia/Chiripo	Lachner y Saénz	2	13	2400	5/85	Operando
6	Palmeras/Alajuela	Francisco Capo	1	13	1200	6/85	Operando
7	Sarapiqui/Heredia	Dir. Gra. Forestal	1	13	1300	9/85	Operando
8	El Indio/Limón	Copeindio	2	13	2200	10/85	Operando
9	Quepos/Puntarenas	Co. Bananera de C.R.	1	49	1800	11/85	Operando
10	Naranjo/Cartago	Aserradero Diafragma	4	13	4500	4/86	Operando
11	BarraDeMatina/Limón	Japdeva	1	13	1460	3/87	Operando
12	Pelón de la Bajura/Guanacaste		1	13	1460	6/87	Operando
GUATEMALA:							
13	Chimaltenango/Guatemala		1	13	650	10/83	No Operando
14	Guatemala		1	17	300	10/83	No Operando
15	Izabal/Guatemala		5	7	1800	4/84	Operando
16	Chiquimulilla		4	49	4400	1/84	Operando
17	Tecpán/Guatemala		2	49	1600	5/87	----------

ANEXO A-7. Unidad demostrativa horno Colmena ICAITI

1 Descripción:

La unidad demostrativa está instalada en una finca ubicada en Coris, en la provincia de Cartago, a 15 km. de San José. Dicha finca pertenece al Sr. Carlos Vargas, el cual cultivó un bosque de 100 ha de pino y ciprés. El material que se usa para la producción de carbón vegetal proviene de las raleas de mantenimiento que periódicamente se hacen al bosque. Dicho material no se preseca, y se carga al horno con una humedad que oscila entre 45 y 50%.

Un trabajador fijo y uno ocasional operan el horno demostrativo (49 m3 de capacidad nominal) con el auxilio de un camioncito de 4.5 m3.

La finca opera permanentemente desde principios de 1984 con los siguientes resultados:

- Producción promedio carbón vegetal por ciclo: 3100 kg
- Ciclo de operación (carga, carbonización, enfriamiento y descarga): 12 días
- Costo de producción (1986): CA$ 0.079/kg carbón
- Producción anual carbón: 92,400 kg
- Ingresos anuales (precio puesto en la finca: CA$ 0.10/kg): CA$ 9,240

Previous Page Blank

2. RESULTADOS DE CAMPO/unidad demostrativa, Horno Colmena tipo ICAITI DE 49 m3

Prueba No.	1	2	3	4	5
Fecha	15/9/83	3/10/83	18/10/83	5/11/83	25/11/83
Características leña					
Tipo	pino y ciprés	pino y ciprés	pino y ciprés	pino y ciprés	pino y ciprés
Humedad, %	45	47	46	47	45
Cantidad, kg	22,400	22,500	24,300	25,300	25,200
Cantidad, m3	35	35.1	39.0	39.7	39.7
Duración de operaciones					
Carga (horas)	6	6	7	7	7.5
Carbonización (días)	9	8	7	6	6
Enfriamiento (días)	6	6	5	4	4
Descarga/empaque (horas)	5	5	6	6	6
Total (días)	17	16	15	12	12
Producción:					
Carbón (kg)	2,400	2,700	3,000	3,050	3,200
Líq. piroleñoso (L)	200	270	260	280	270
Rendimiento:					
En peso, base seca (*)	19.5	22.6	22.8	22.7	23.1
Análisis del carbón:					
Humedad	5				7.17
Cenizas	0.5				0.60
Materia volátil	43.8				91.66
Carbono Fijo	61.1				91.63
Poder Calorífico kcal/kg	6,800				6,220
Fecha Análisis	8/1/84				29/6/87
Lugar Análisis:	Canadá				ICAITI

*(kg de carbón/kg de leña seca)

ANEXO A-8. Horno Colmena-ICAITI. Dos casos típicos en Costa Rica.

1. CAMPAÑIA LACHNER Y SAENZ:

Posee dos fincas forestales, una de 5 000 ha en Siquirres, Provincia de Limón, y otra, de 6 000 ha, en Chiripó. En cada finca hay 2 hornos de 13 m3, y se procesa parte del material del bosque tropical húmedo que se elimina para dar paso a la plantación del bosque homogéneo. La madera usada para producir el carbón es de 40 especies de maderas semiduras y duras, que se presecan durante 3 meses, hasta un contenido de 30% de humedad. Un trabajador fijo y uno ocasional operan 2 hornos; emplean una yunta de bueyes para el acarreo de la madera a los hornos.

Cada finca opera permanentemente desde Mayo de 1985 con los siguientes resultados, por horno:

- Producción promedio carbón vegetal/ciclo: 1000 kg
  Producción anual carbón: 90 000 kg
- Ciclo de operación (carga, carbonización, enfriamiento y descarga): 8 días
- Costo de producción (1986): CA$ 0.073/kg carbón.
- Ingresos anuales (precios puesto en la finca: CA$ 0.10/kg): CA$ 9 000

2. ASERRADERO DIAFRAGMA:

Fabrica muebles para el hogar, con diversas especies de madera (guanacaste, guapinol, cenicero y caobilla). El aserradero está ubicado en Naranjo, Cartago, Costa Rica y posee 4 hornos de 13 m3. La madera usada para producir el carbón son los residuos del aserradero, con un contenido de 30 % de humedad. Dos trabajadores fijos operan los cuatro hornos; emplean un montacargas para acarreo y carga de los residuos.

El aserradero opera permanentemente desde Abril de 1986, con los siguientes resultados por horno:

- Producción promedio carbón vegetal/ciclo: 1100 kg
  Producción anual carbón: 198 000 kg
- Ciclo de operación (carga, carbonización, enfriamiento y descarga): 8 días
- Costo de producción (1986): CA$ 0.055/kg carbón.
- Ingresos anuales (precios puesto en la finca: CA$ 0.10/kg): CA$ 19 800

  Costo de residuos en aserradero: CA$ 1.2/m3

ANEXO A-9. Costos de producción hornos Colmena-ICAITI. Costa Rica.

	HORNOS (Ver nota al pie) A	B	C
	Un horno de 49 m3	dos hornos de 13 m3	cuatro hornos de 13 m3
I: Materia Prima			
1. Ralea de bosque natural costo estimado de CA$2.33/m3 (1986); incluye: Protección forestal, explotación del bosque (descombrado, división y transporte leña al horno).			
1200 m3/año, por horno 49m3	2796		
450 m3/año, por horno 13m3		2097	
2. Residuos de aserradero Costo residuos en aserradero CA$ 1.2/m3, más CA$ 0.35/m3 de carga mecanizada; total CA$1.55 por m3; 425 m3/año (horno 13 m3)			2635
II Fabricación de carbón (Mano de obra) Incluye preparar la leña, dividir troza; secado, carga manual, encendido, carbonización, enfriamiento, descarga y empaque en sacos de 15 kg			
1.2 hombre-año (horno 49m3) a CA$ 1800/hombre	2160		
0.5 hombre-año (horno 13m3) a CA$1800/hombre		1800	3600
TOTALES CA$	4956	3897	6235

A. Unidad demostrativa de Coris (UN horno de 49 m 3).
B. Cía Lachner y Sáenz (DOS hornos de 13 m3)
C. Aserradero diafragma (CUATRO hornos de 13 m3).

Costos de producción (cont.)

	A	B	C
III. Materiales Auxiliares			
Tambores o toneles metálicos más bolsas tejidas de polipropileno de 0.1 m3			
10 toneles/horno	130	200	245
6200 bolsas/año a CA$0.15 cada bolsa (Horno 49m3)	930		
3000 bolsas/año a CA$0.15 cada bolsa (horno 13m3)		900	1800
IV. Supervisión			
1 hombre-mes por año a CA$500/mes	500	500	500
V. Misceláneos			
(impuesto sobre renta, imprevistos)	500	750	1500
VI. Depreciación de hornos			
6 años, valor rescate 10%			
Costo/horno 49 m3, CA$1800	270		
Costo/horno 13 m3, CA$1125		337	675
COSTO TOTAL CA$	7286	6584	10955
VII. Costo unitario en el horno (Anexos A-7 y A-8)			
Producción anual carbón			
92 400 kg (prom/horno 49m3)	0.079		
45,000 kg (prom/horno 13m3)		0.073	
49,500 kg (prom/horno 13m3)			0.055
VIII Ingresos			
Precios de venta al intermediario CA$0.10/kg	9240	9000	19800
IX. Utilidades			
(ingresos año-costos año)	1954	2416	8845

ANEXO A-10. Actividades de promoción. Horno Colmena-ICAITI

A. Campañas promocionales.

El proceso de promoción se ha limitado desde el año 1984 a la distribución de un Manual de construcción y operación a las personas y/o productores interesados en Centroamérica. Adicionalmente, a mediados del año 1985, se efectuó en Costa Rica un seminario dirigido a 25 productores potenciales. El seminario incluyó una visita a la unidad demostrativa de Coris en Cartago.

B. Entrenamientos.

El entrenamiento para operación y mantenimiento del horno se ha dado a las personas encargadas, en todos los hornos construidos (aprox., 75 personas). El entrenamiento para construcción del horno ha sido limitado a 10 personas.

C. Estado actual de la diseminación y promoción

Para esta tecnología hay en Costa Rica instituciones de enlace dedicadas a la promoción/difusión, como la Junta de Administración Portuaria y Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA), que desde principios de 1986 incorporó al carbón vegetal dentro de sus programas de desarrollo.

ANEXO A-11. Bibliografía relativa a Hornos Colmena.

1. Manual para construcción y operación, Horno para carbón vegetal. ICAITI-ROCAP 596 - 0089, D701, 1984.

2. Wood fuel surveys: Measurements problems and solutions to these problems. F.A.O., by K. Openshaw.

4 Revista Energética. Olade, Sep. - oct. 84

5. Energy alternatives in Latin America. Francisco Szekely, volumen, 1983.

6. Simple Technologies for Charcoal Making. Fao Foresty Paper 41, 1983.

7. Leña y fuentes alternas de enrgía. Estudio sobre leyes y políticas en América Central ICAITI-ROCAP 596-0089, 1983.

8. 1er curso sobre carbón vegetal para Centro América. Olade, ministerio de Enería y Minas de Guatemala, Floresta acesita 1983.

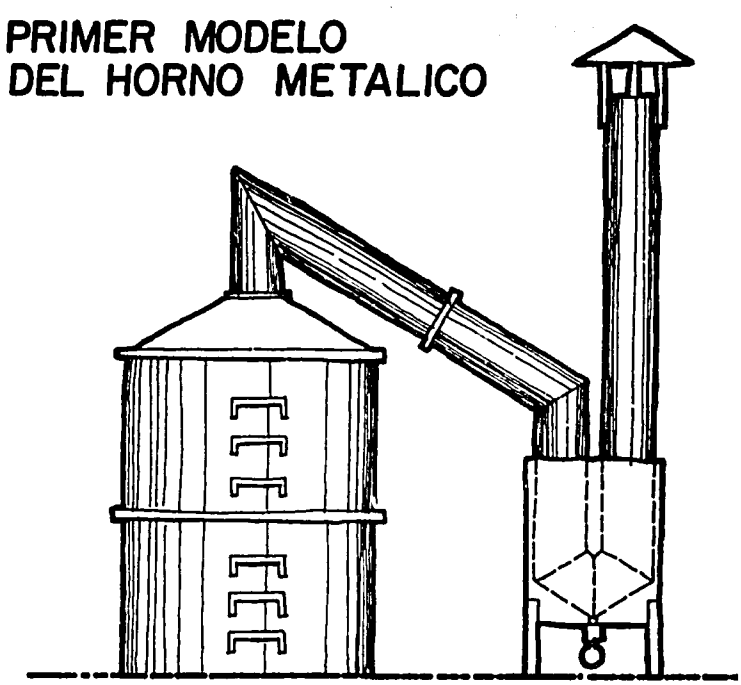
9. Producción y mercadeo y carbón vegetal en Costa Rica. Rodrigo Salazar 1986.

Previous Page Blank

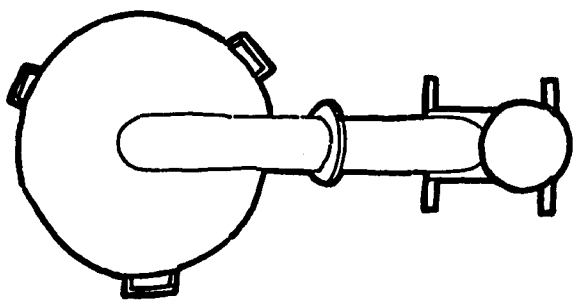
ANEXO A-12. Fotografía de Unidad Experimental del Horno Metálico.

Previous Page Blank

ANEXO A-13. Primer diseño del horno metálico.



ELEVACION

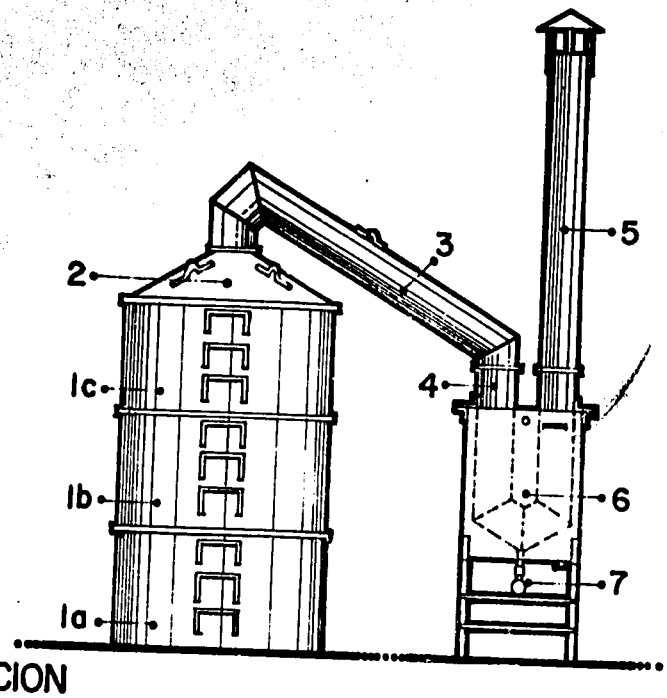


PLANTA

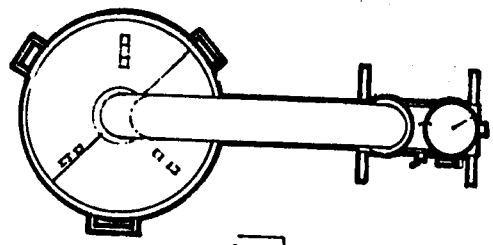
Previous Page Blank

ANEXO A-14. Horno metálico mejorado. Planos, proceso de fabricación, materiales y costo.

Previous Page Blank



ELEVACION

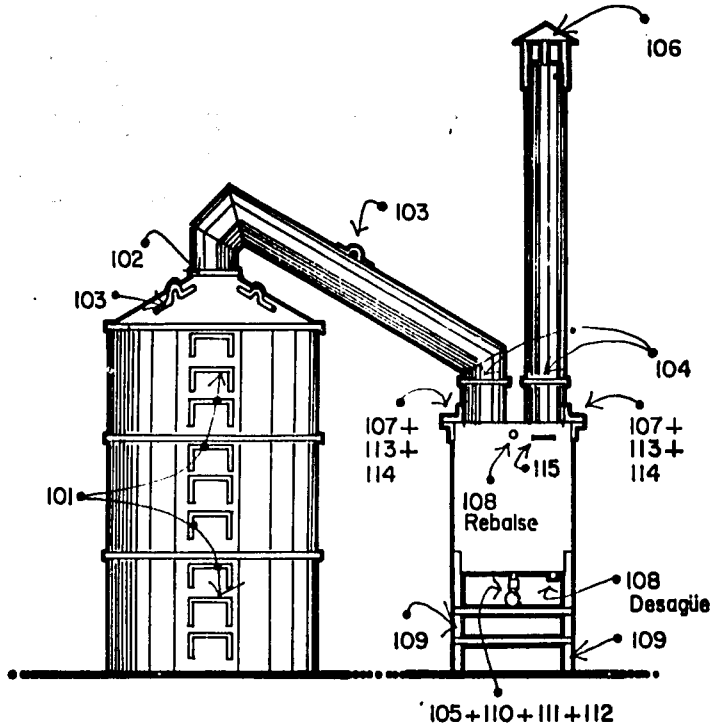


PLANTA

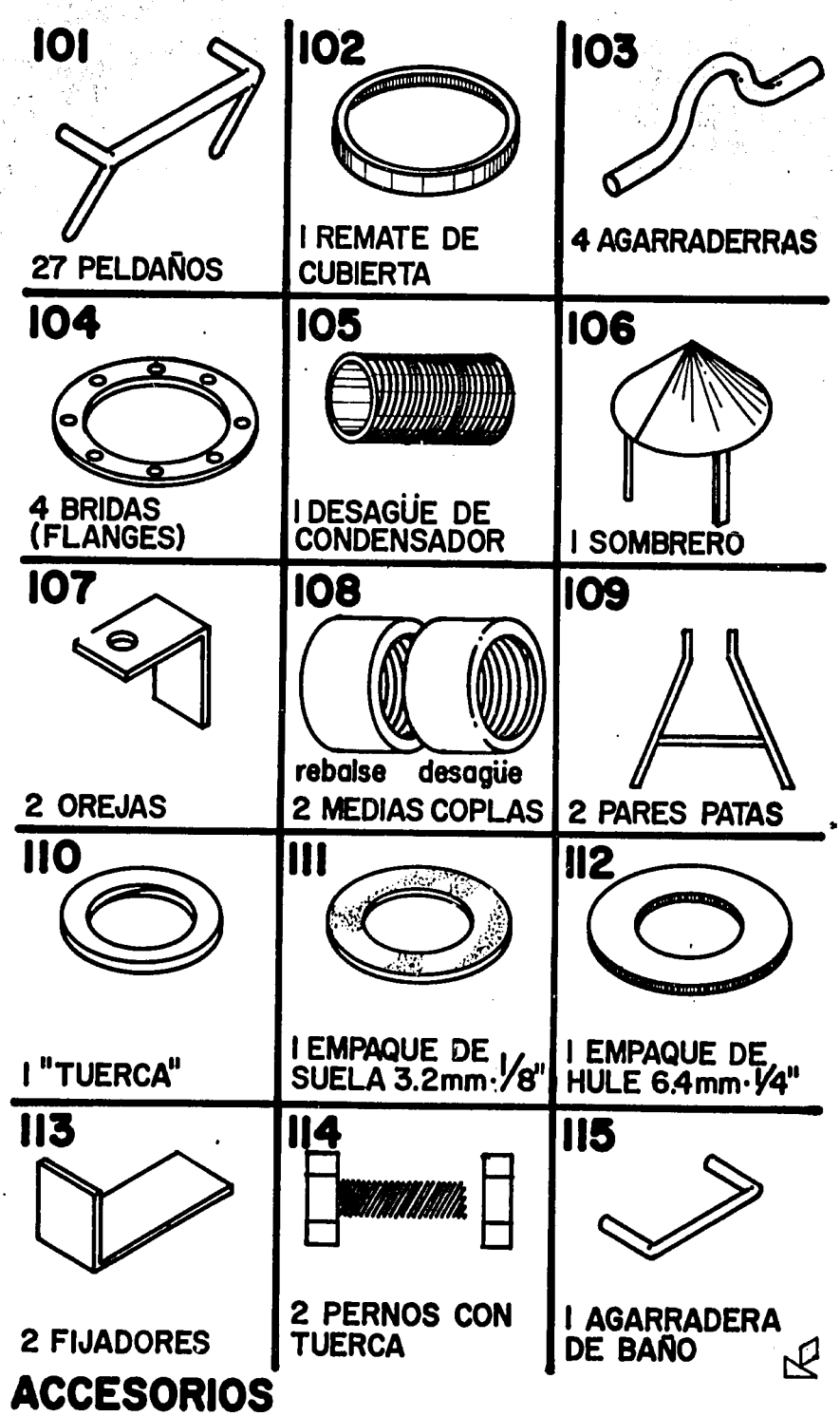
1a.
1b. cilindros
1c.
2 cubierta
3 ducto para gases de combustión
4 tubo condensador
5 chimenea
6 baño
7 recolector de líquidos

PARTES DEL HORNO

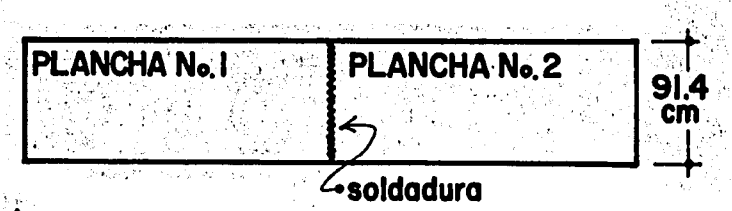
Proyecto Pago Directo



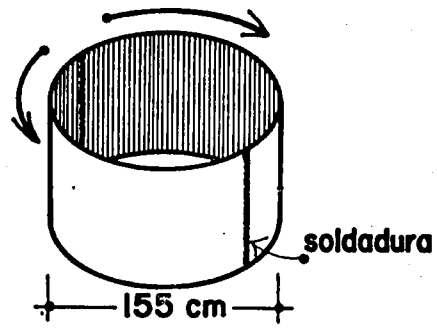
CLAVE DE ACCESORIOS


101
27 PELDAÑOS
102
1 REMATE DE CUBIERTA
103
4 AGARRADERRAS
104
4 BRIDAS (FLANGES)
105
1 DESAGÜE DE CONDENSADOR
106
1 SOMBRERO
107
2 OREJAS
108
rebalse desagüe
2 MEDIAS COPLAS
109
2 PARES PATAS
110
1 "TUERCA"
111
1 EMPAQUE DE SUELA 3.2mm·1/8"
112
1 EMPAQUE DE HULE 6.4mm·1/4"
113
2 FIJADORES
114
2 PERNOS CON TUERCA
115
1 AGARRADERA DE BAÑO

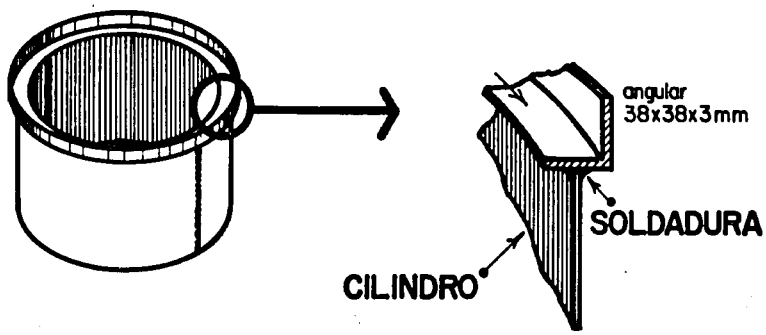
ACCESORIOS



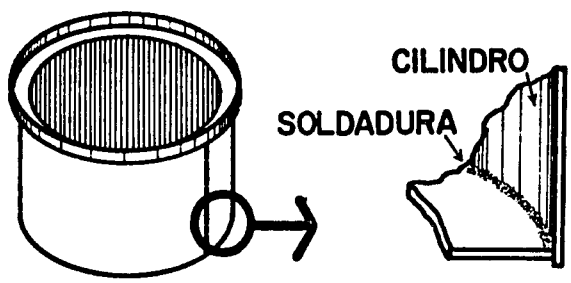
PASO 1



PASO 2

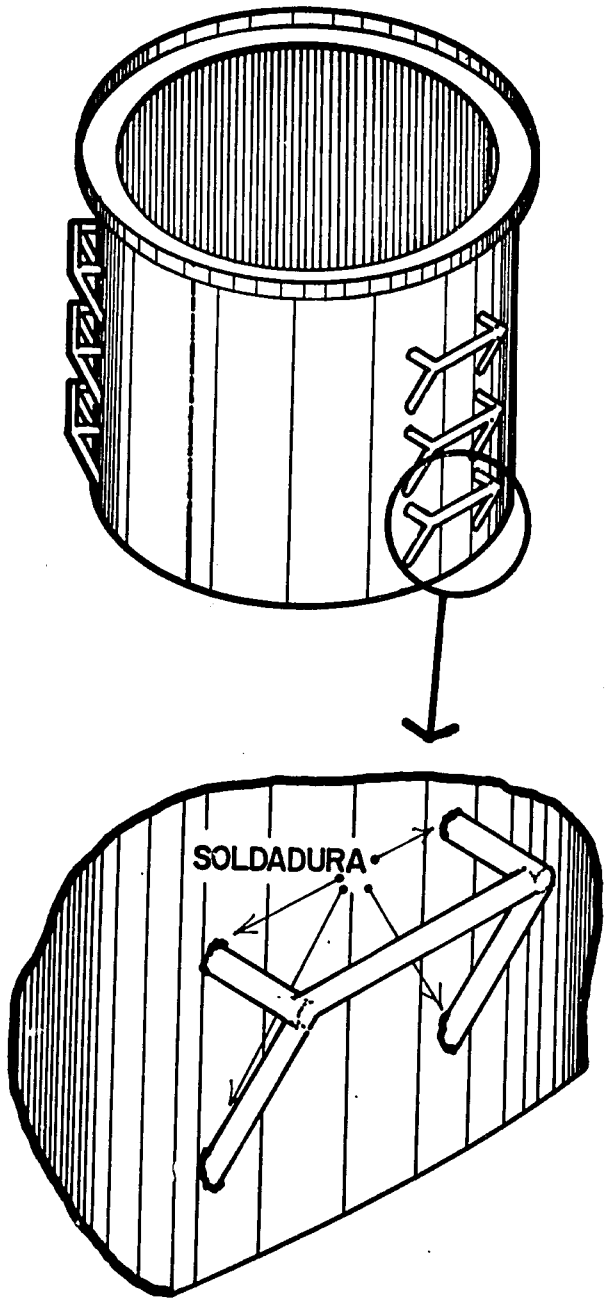


PASO 3

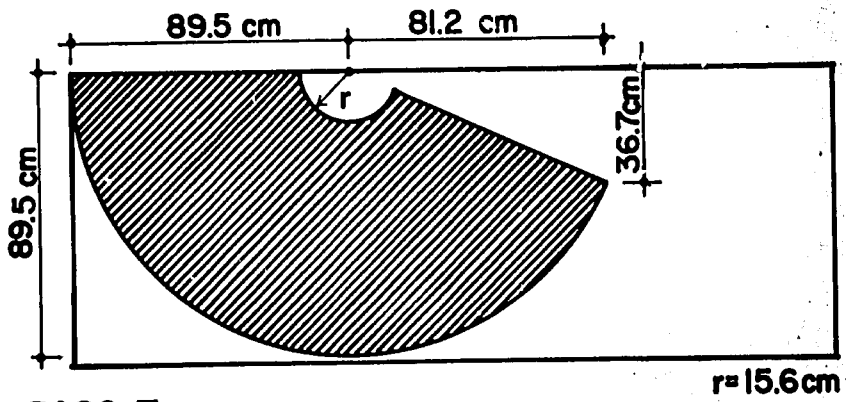


Faja de hierro
38x1.5mm para cilindro Ia (1 1/2" x 3/16")
25 x 1.5mm para cilindros Ib y Ic (1 x 3/16")

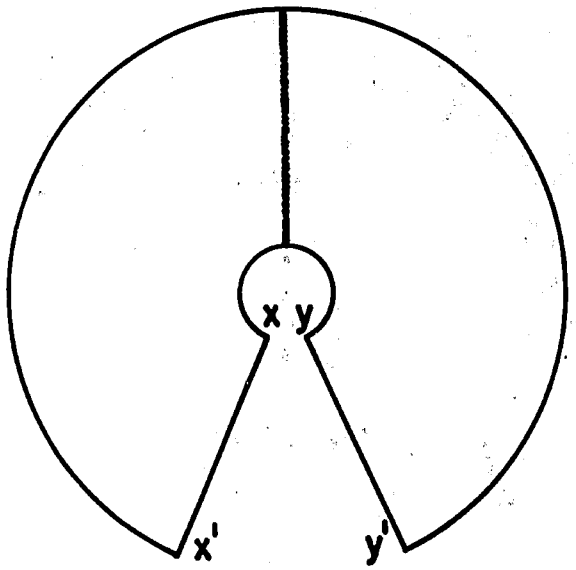
PASO 4



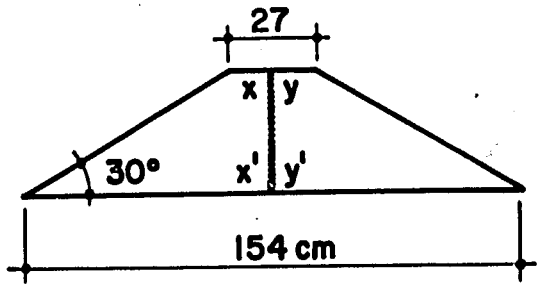
PASO 6



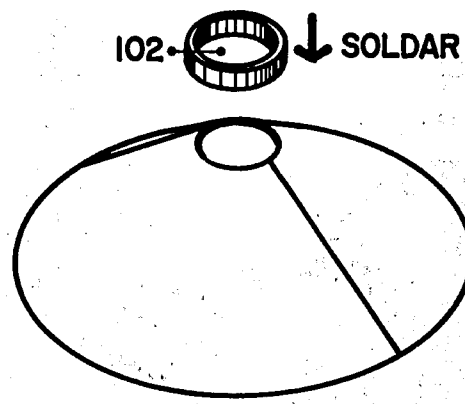
PASO 7



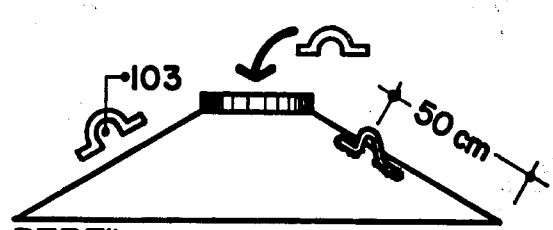
PASO 8



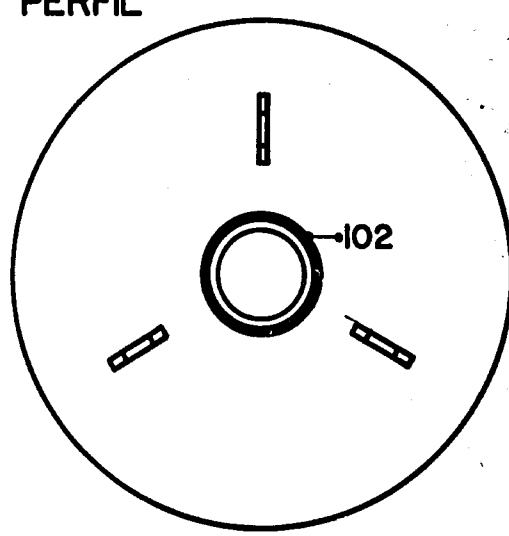
PASO 9



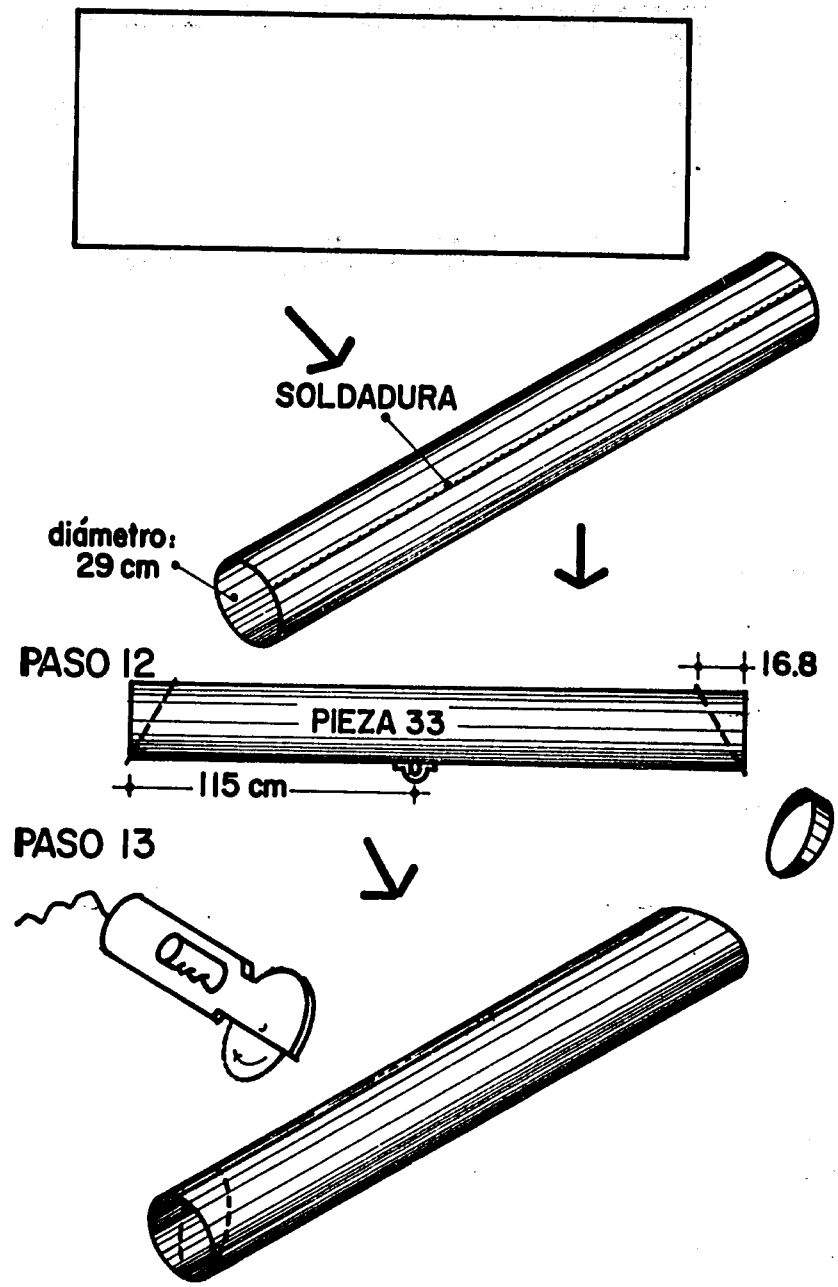
PASO 10

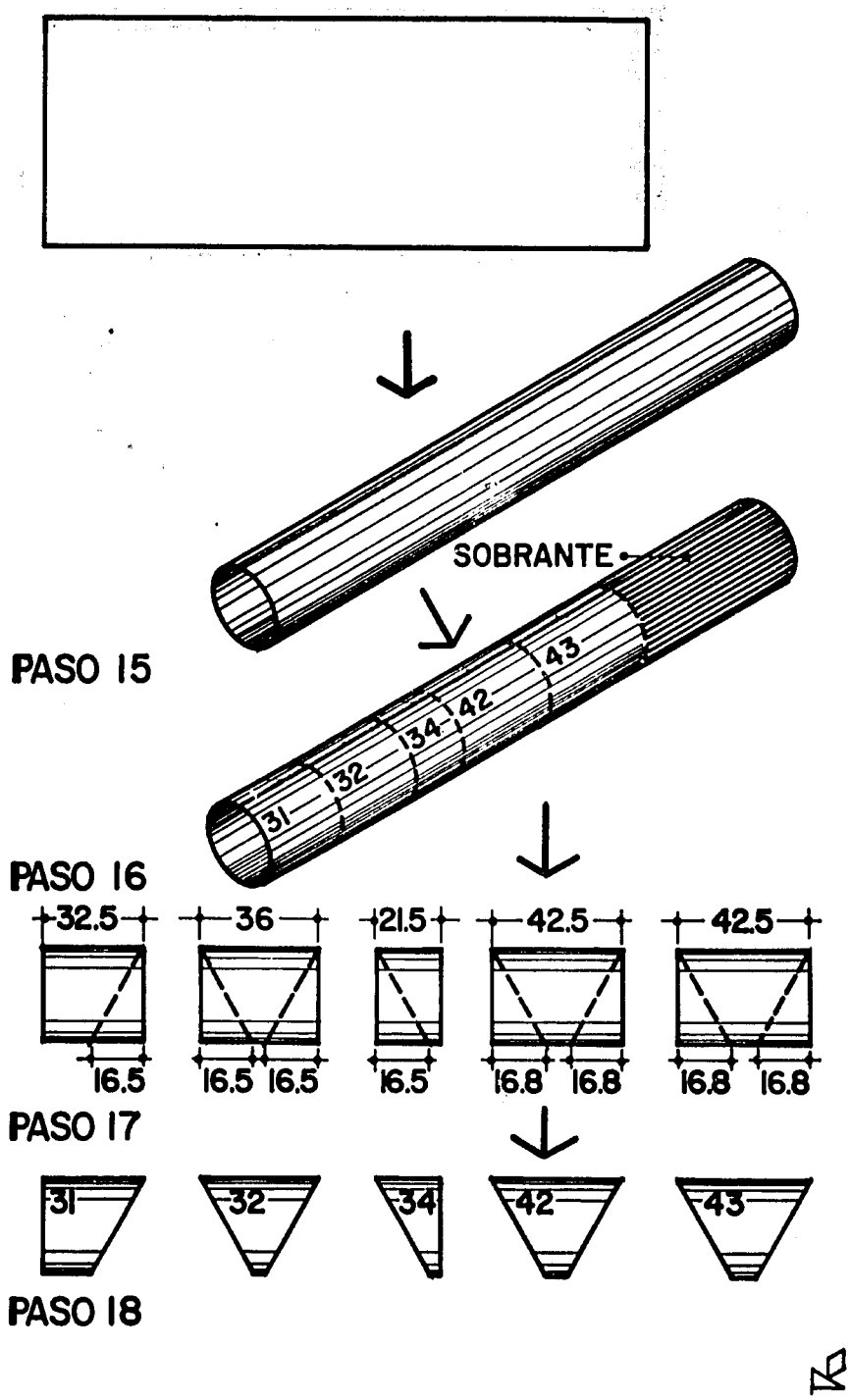


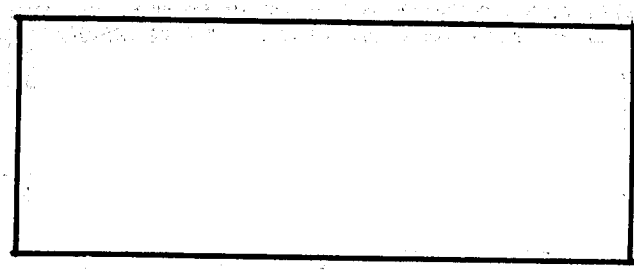
PERFIL

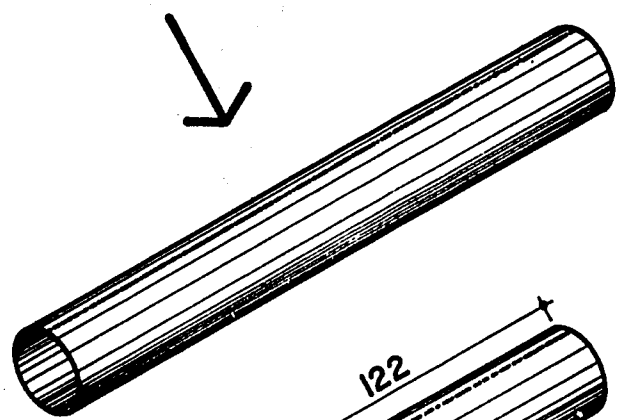


PASO 11 PLANTA

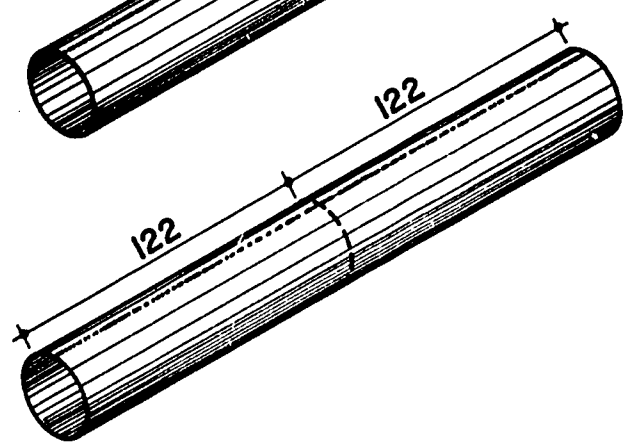

SOLDADURA
diámetro:
29 cm
PASO 12
16.8
PIEZA 33
115 cm
PASO 13
PASO 14


SOBRANTE
PASO 15
31
132
134
42
43
PASO 16
32.5
36
21.5
42.5
42.5
16.5
16.5
16.5
16.5
16.8
16.8
16.8
16.8
PASO 17
31
32
34
42
43
PASO 18

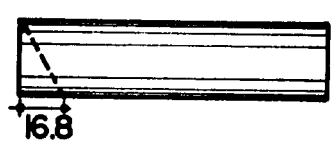


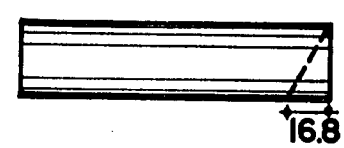


PASO 19

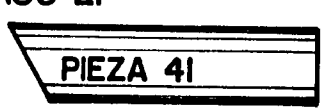


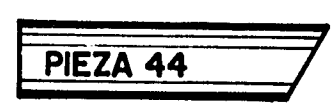
PASO 20



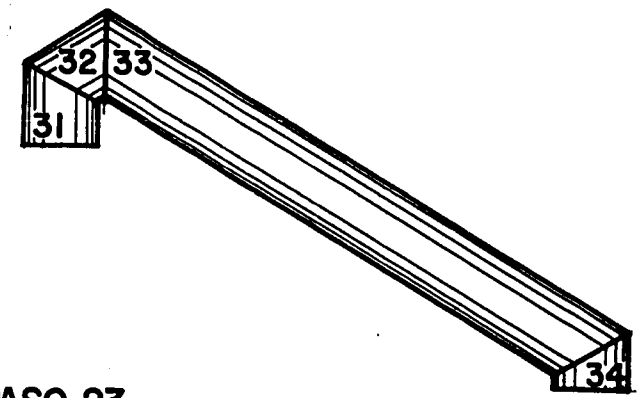


PASO 21

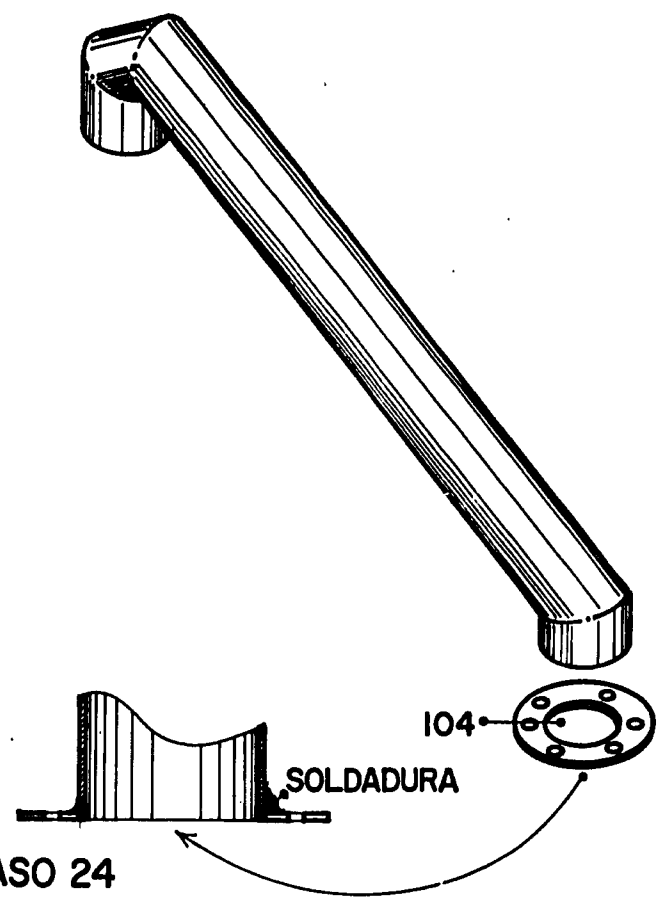




PASO 22

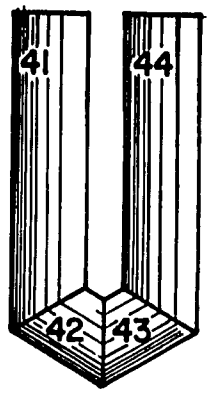


PASO 23

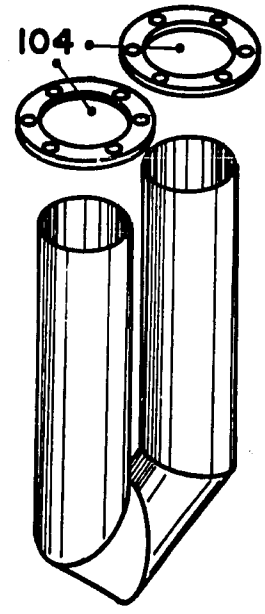


PASO 24

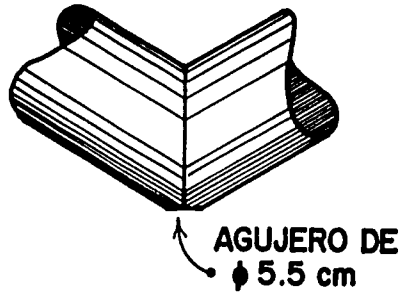
K



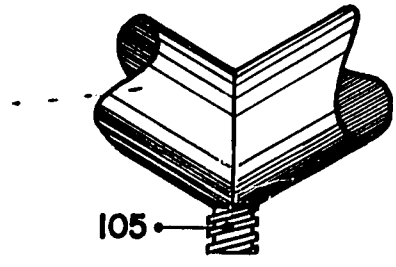
PASO 25



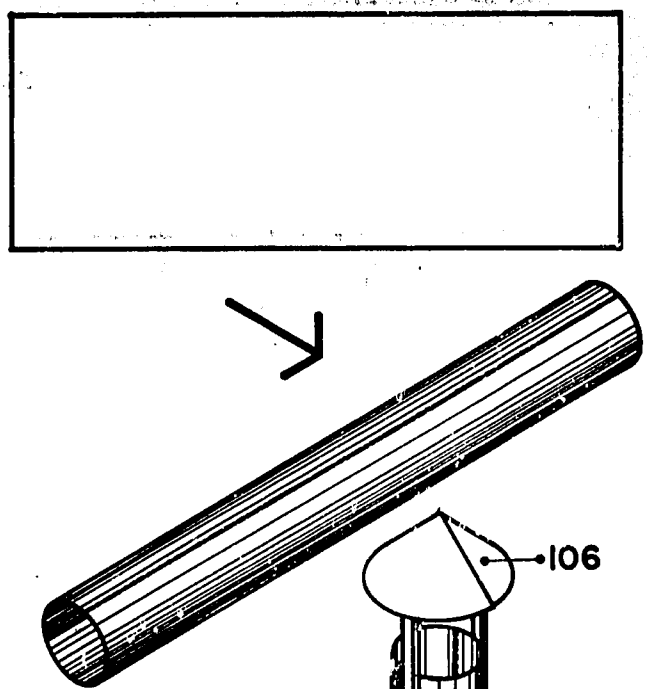
PASO 26



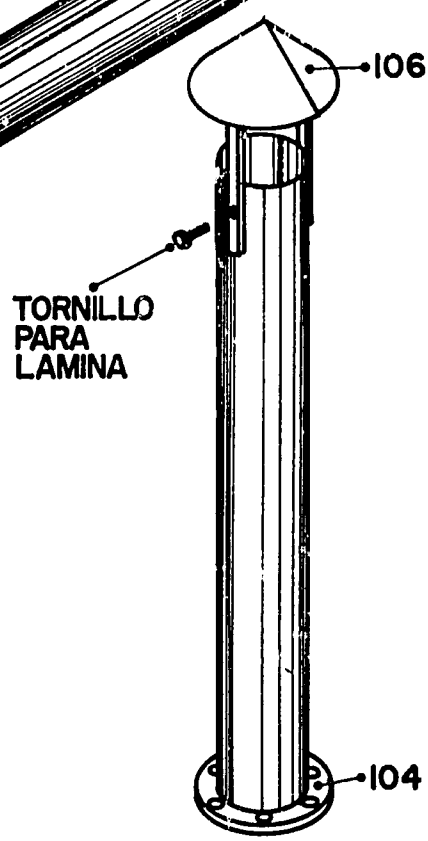
PASO 27



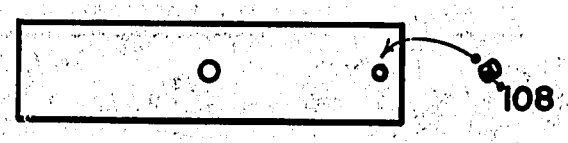
PASO 28



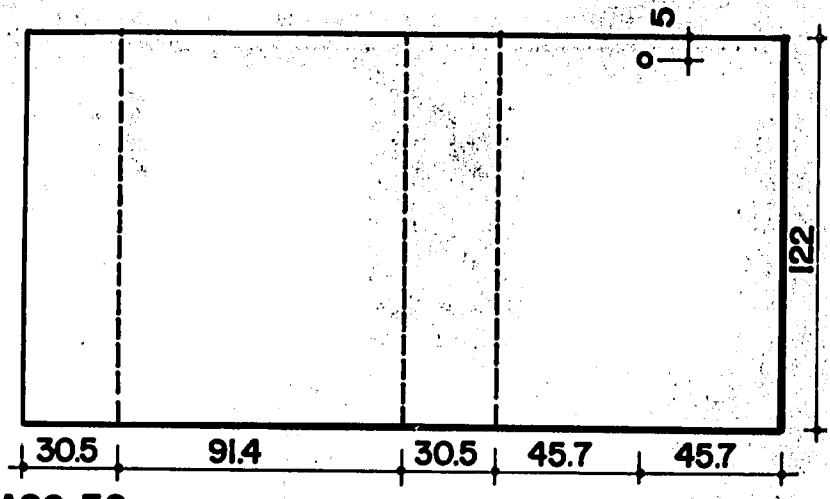
PASO 29



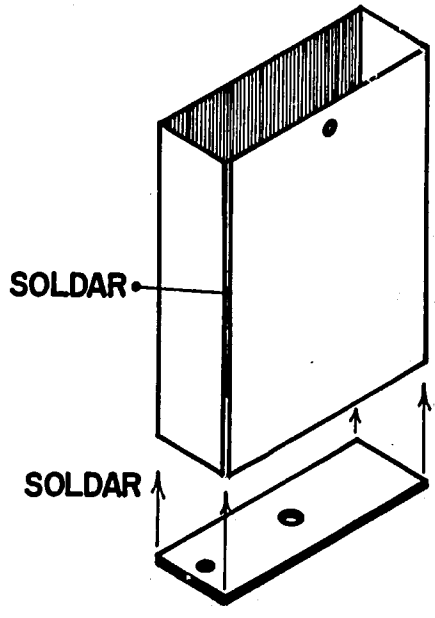
PASO 30



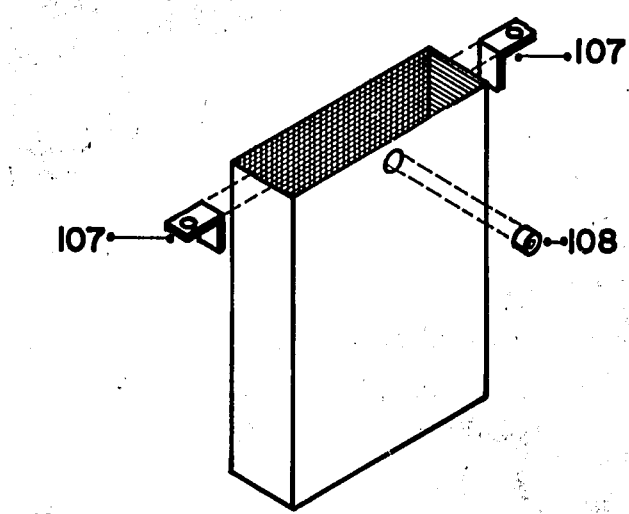
PASO 31



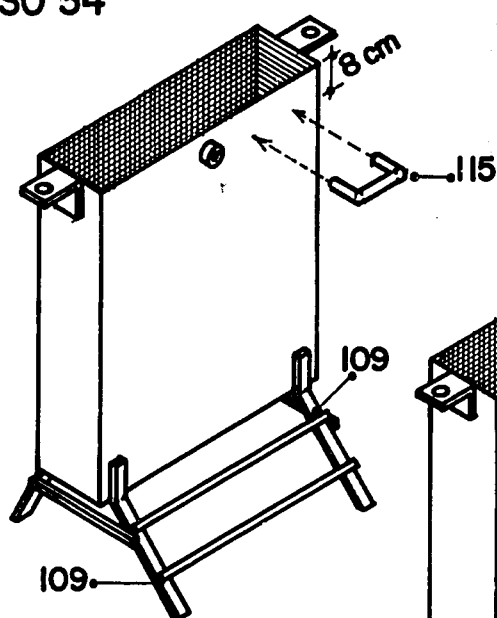
PASO 32



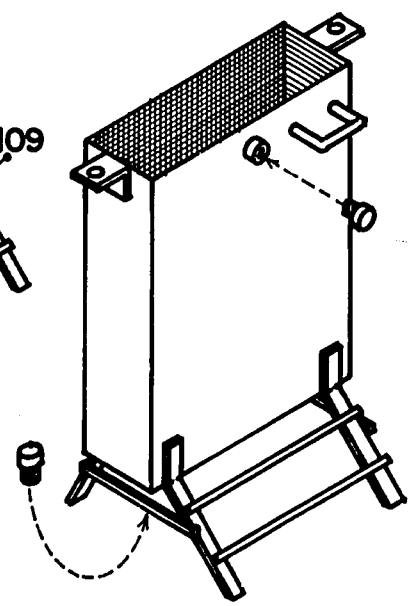
PASO 33



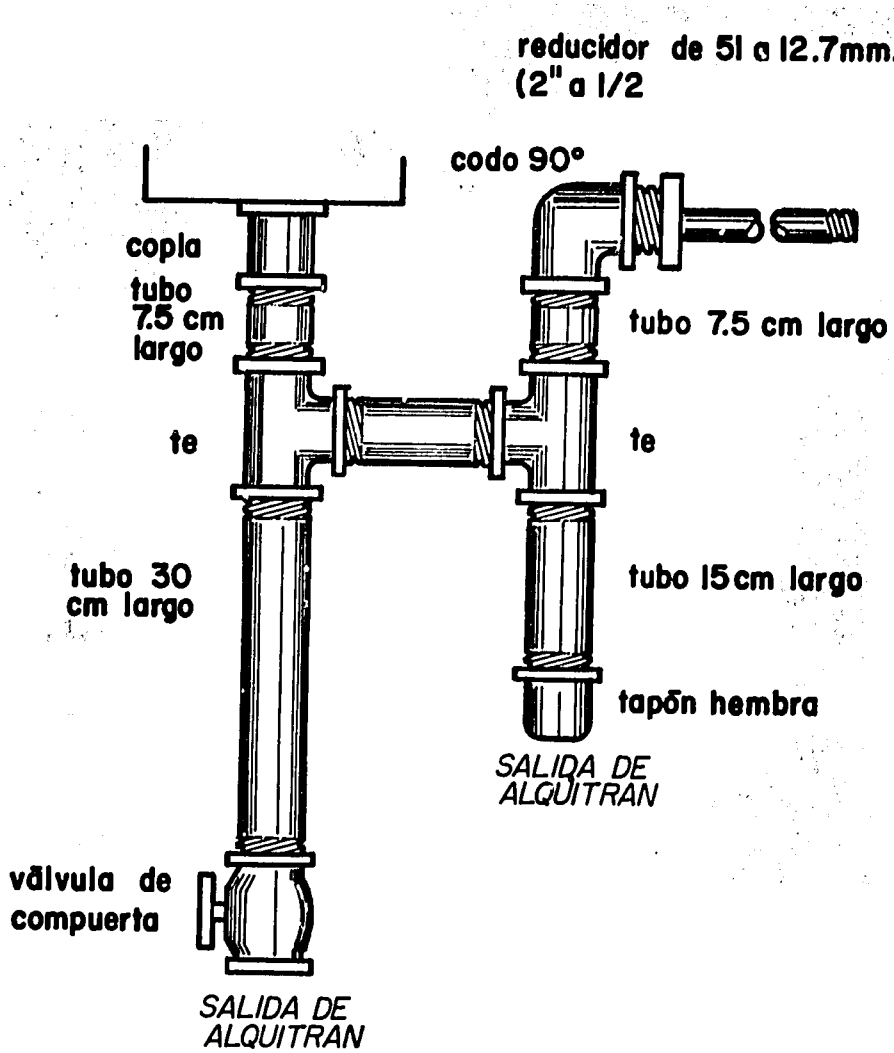
PASO 34



PASO 35



PASO 36

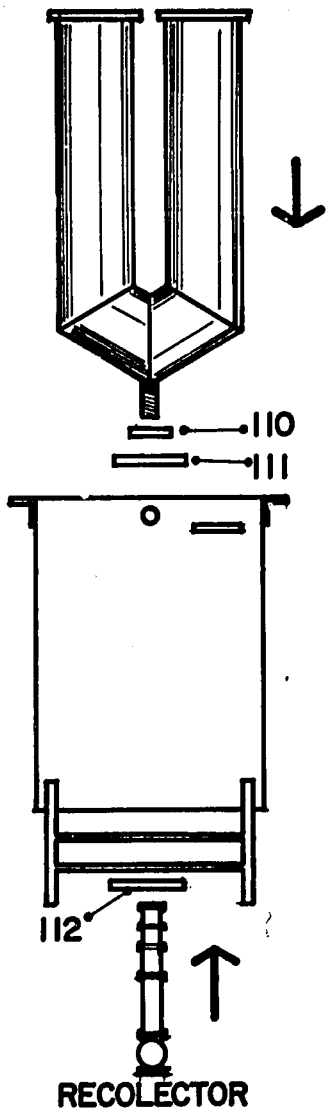


NOTAS:

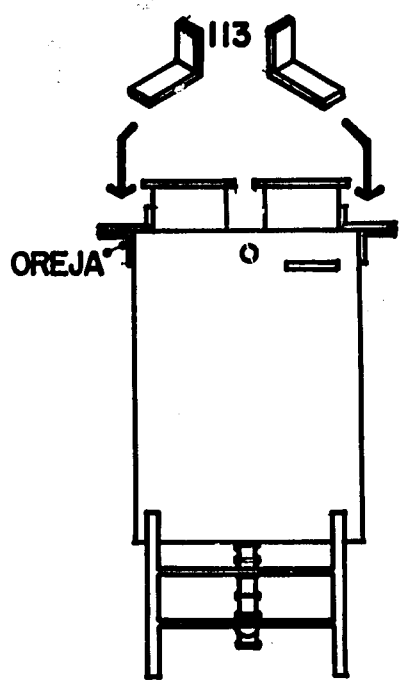
(1) Todas las piezas son de hierro galvanizado estándar de Ø 51mm (2"), salvo tubo A.

(2) Tubo A: hierro galvanizado estándar de Ø 13mm (1/2"), 30 cm de largo

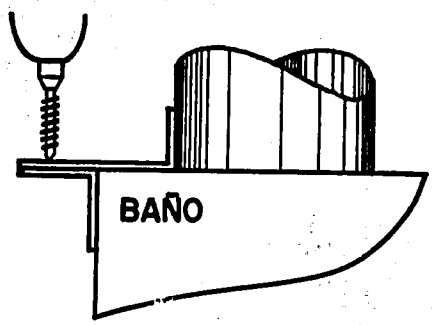
PASO 37



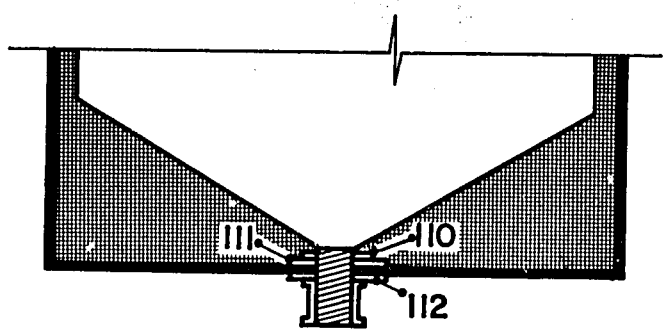
PASO 38



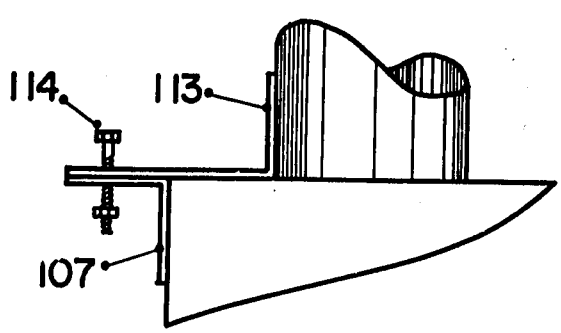
PASO 39



PASO 40



PASO 41



PASO 42

Técnicas/equipo requeridos para la fabricación del horno metálico.

Se necesita disponer de un taller equipado con enrolladoras de láminas, soldadura eléctrica, taladro, cortadoras de lámina (sierra eléctrica portátil), etc.

Tiempo de construcción.

El tiempo de construcción es de 15 días hábiles.

Proceso de fabricación del horno metálico.

Se siguen los pasos siguientes:

- Compra de materiales de construcción.
- Enrollado y soldadura de láminas para fabricar las secciones cilíndricas.
- Doblado de angulares y tiras planas de refuerzo.
- Soldadura de angulares y tiras planas a las secciones cilíndricas.
- Enrollado, soldadura de láminas para fabricar la tubería.
- Corte de tubería.
- Soldadura de secciones de tubería para formar la tubería de acople, tubería de baño y chimenea.
- Corte de lámina para cubierta cónica y enrollado y soldadura.
- Corte y soldadura de varilla corrugada para argollas, peldaños, etc.
- Ensamble de baño condensador.
- Instalación del sistema de soporte del baño condensador.
- Pintado y ensamble final.

Materiales y costos de fabricación, Horno metálico diseño mejorado (1985).

Materiales	Cantidad	Costo en CA$ en Guatemala
Láminas hierro negro 91x233x0.32cm	2	98
Láminas hierro negro 122x244x0.08cm	1	24.1
Láminas hierro negro 91x244x0.16cm	6	281.9
Láminas hierro negro 91x244x0.08cm	2	45.4
Angular hierro negro de 38x38x0.32cm	3	20.4
Hierro plano de 25 x 3.2mm	4	6.32
Lámina hierro negro de 800x800x6.4mm	1	11.5
Hierro corrugado de 0.5mm	4	5.68
Tornillos con tuerca, de 9.5mmx10cm	12	0.92
Electrodo Hobart LH-718 de 5/32"	18Kg	25.81
Electrodo Hobart 335-A de 3/32"	2.5	4.8
Tonel de 54 galones	1	3.0
Tubo galvanizado Ø 1"	1	7.55
"Te" galvanizado Ø1 1/2"	1	1.94
Tapón macho galvanizado de 1 1/2"	1	0.67
Tubo galvanizado de 1 1/2 Ø x 12"	1	1.69
Te galvanizado Ø2"	2	5.75
Codo galvanizado 90°, Ø 2"	1	2.32
Reducidor Bushing de 2" a 1/2"	1	1.33

Materiales y costos de construcción (continuación

Materiales	Cantidad	Costo en CA$ en Guatemala
Tubo galvanizado 3" x 2" 0	2	2.2
Tubo galvanizado 6" x 2" 0	2	3.6
Tubo galvanizado 12" x 2" 0	1	3.3
Copla galvanizada de 2" 0	2	11.87
Tapón Hembra de 1" 0	1	1.25
Tapón macho de 1" 0	2	0.77
Válvula decompuerta de 2" 0	1	10.30
Copla de 1" 0	1	2.29
Tubo con rosca corrida de 2 1/2x2" 0	1	1.80
Manguera de 3/4" 0 x 0.5m		0.30
Pie de Neolite de 1/8" espesor	1	1.0
Polipasto de 1/2 tonelada	1	78.6
TOTAL MATERIALES CA$		666.0

Inversión requerida,	UNIDADES DEMOSTRATIVAS	
	Turrialba CostaRica (1984)	Quetzaltenango Guatemala (1985)
- Materiales construcción	750	666
- Mano de obra	500	400
- Preparación del sitio, bodega y galera	300	150
- Supervisión, puesta en marcha y entrenamiento	300	300
- Transporte al sitio	100	100
TOTAL CA$	1950	1616

ANEXO A-16. Producción de carbón vegetal y líquido piroleñoso. FORESA 1985.

Fuente: Informes en hojas siguientes.

Mes	Número Tandas	Carbón Vegetal Total	Carbón Vegetal Promedio	Líq. Piroleñoso Total	Líq. Piroleñoso Promedio	Alquitrán Total	Alquitrán Prom.
		kg(*)		litros (**)		litros (**)	
May	4	739	185	---	---	4	---
Jun	12	1648	137	---	---	12	---
Jul	9	977	108	---	---	9	---
Ago	7	807	115	---	---	7	---
Spt	2	193	97	---	---	2	---
TOTAL	34	4364		5000		34	
Prom.	9.3		128		147		1

* Cada saco pesa 25 libras (11.36 kg)

** Cada tonel contiene 200 litros.

INFORME DE LA PRODUCCION DE CARBON Y ALQUITRAN HASTA EL DIA 11 DE JUNIO DE 1985

HORNADA	FECHA	MATERIAL	PRODUCCION	CALIDAD	ALQUITRAN
1	22-5-85	Ciprés	19 sacos	17 sacos de 1º 2 sacos de 2º	
2	25-5-85	Encino	11 sacos	9 sacos de 1º 2 sacos de 2º	
3	28-5-85	Ciprés	17 sacos	16 sacos de 1º 1 saco de 2º	
4	31-5-85	Encino	18 sacos	12 sacos de 1º 6 sacos de 2º	
5	1-6-85	Ciprés	22 sacos	18 sacos de 1º 4 sacos de 2º	
6	3-6-85	Encino	8 sacos	3 sacos de 1º 5 sacos de 2º	
7	5-6-85	Encino	13 sacos	5 sacos de 1º 8 sacos de 2º	
8	7-6-85	Encino y Ciprés	16 sacos	Encino 4 de 1º 8 de 2º Ciprés 4 de 2º	
9	10-6-85	Encino	No hubo Prod.	Todo quemado	

ENCINO SACOS DE 1º 33	ENCINO SACOS DE 2º 29	TOTAL 62
CIPRES SACOS DE 1º 51	CIPRES SACOS DE 2º 11	62 124

SE HAN VENDIDO 15 ARROBAS O SEAN 15 SACOS A Q.1.25 C/ARROBA QUE HACE UN TOTAL DE Q18.75

LA PRODUCCION DEL ALQUITRAN EN 8 HORNADAS ES DE 5 TONELES Y MEDIO
Total de JORNALES en esta producción es de 90
Total de TAREAS de LEÑA 13.50

Vo B. Mario David Rodríguez de León
Jefe de Proyectos

Mario Adolfo Rojas M.
Auxiliar Administrativo

INFORME DE LA PRODUCCION DE CARBON Y ALQUITRAN HASTA EL 8 DE JULIO DE 1985

HORNADA	FECHA	MATERIAL	PRODUCCION	CALIDAD
10	13-6-85	ENCINO	4 SACOS	4 SACOS DE PRIMERA
11	15-6-85	ENCINO	19 SACOS	11 SACOS DE PRIMERA 8 SACOS DE SEGUNDA
12	17-6-85	ENCINO	13 SACOS	9 SACOS DE PRIMERA 4 SACOS DE SEGUNDA
13	20-6-85	ENCINO	12 SACOS	8 SACOS DE PRIMERA 4 SACOS DE SEGUNDA
14	22-6-85	ENCINO	15 SACOS	11 SACOS DE PRIMERA 4 SACOS DE SEGUNDA
15	24-6-85	ENCINO	9 SACOS	7 SACOS DE PRIMERA 2 SACOS DE SEGUNDA
16	27-6-85	ENCINO	14 SACOS	12 SACOS DE PRIMERA 2 SACOS DE SEGUNDA
17	1-7-85	ENCINO	6 SACOS	4 SACOS DE PRIMERA 2 SACOS DE SEGUNDA
18	4-7-85	ENCINO	8 SACOS	6 SACOS DE PRIMERA 2 SACOS DE SEGUNDA
19	8-7-85	ENCINO	9 SACOS	7 SACOS DE PRIMERA 2 SACOS DE SEGUNDA

SACOS DE PRIMERA ..... 79 SACOS
SACOS DE SEGUNDA ..... 30 SACOS
TOTAL ..... 109 SACOS

LA PRODUCCION DE ALQUITRAN DESDE EL 13-6-85 AL 8-7-85 ES DE NUEVE TONELES Y MEDIO.
QUETZALTENANGO 24 DE SEPTIEMBRE DE 1985.

Vo. Bo. ROLANDO RODRIGUEZ DE LEON
JEFE DE PROYECTOS.

ADOLFO ROJAS M.
AUX. ADMINISTRATIVO

RECIBIDO 17 SET. 1985

INFORME DE LA PRODUCCION DE CARBON Y ALQUITRAN HASTA EL 5 DE SEPTIEMBRE DE 1,985

HORNADA	FECHA	MATERIAL	PRODUCCION	CALIDAD
20	11-7-85	Encino	10 Sacos	8 sacos de Primera 2 sacos de Segunda
21	15-7-85	Encino	12 Sacos	11 sacos de Primera 1 saco de Segunda
22	19-7-85	Encino	9 Sacos	8 Sacos de Primera 1 saco de Segunda
23	23-7-85	Encino	10 Sacos	8 sacos de Primera 2 sacos de Segunda
24	26-7-85	Encino	11 Sacos	10 sacos de Primera 1 saco de Segunda
25	29-7-85	Encino	11 Sacos	10 sacos de Primera 1 saco de Segunda
26	1-8-85	Ciprès	8 Sacos	8 sacos.
27	5-8-85	Encino	7 Sacos	7 sacos de Primera
	(AGOTADO MATERIAL DE ENCINO)			
28	12-8-85	Aliso	6 Sacos	6 sacos.
29	15-8-85	Ciprès	11 Sacos	11 sacos.
30	19-8-85	Ciprès	10 Sacos	10 sacos.
31	23-8-85	Ciprès	17 Sacos	17 sacos.
32	27-8-85	Encino	12 Sacos	10 sacos de Primera 2 sacos de Segunda
33	2-9-85	Encino	11 Sacos	11 Sacos de Primera
34	5-9-85	Cipres	6 Sacos	6 sacos.

	PRIMERA	SEGUNDA	TOTAL
ENCINO	83	10	93 SACOS
CIPRES	—	—	52 SACOS
ALISO	—	—	6 SACOS
TOTAL			151 SACOS

PRODUCCION DE ALQUITRAN DEL 11-7-85 AL 5-9-85 ES DE 10 TONELES=.

RECIBIDO 17 SET. 1985

DESDE EL INICIO DE FUNCIONAMIENTO DEL HORNO A LA FECHA SE HA VENDIDO 172 ARROBAS Y SU VALOR YA FUE DEPOSITADO.----------

VoBo ROLANDO RODRIGUEZ DE LEON
JEFE DE PROYECTOS.

PEDRO ADOLFO ROJAS M.
AUX. ADMINISTRATIVO

ANEXO A-17. Costos de Producción/Unidades demostrativas Horno Metálico.

	Unidades demostrativas Turrialba	Unidades demostrativas Quetzaltenango
A. Materia prima		
Ralea de bosque, que incluye: protección forestal, explotación del bosque (descombre, troceado y transporte de la leña al horno).		
Costa Rica. Bosque natural. 18 tandas de 4 m3 c/u a costo estimado de CA$ 2.0/m3	144	
Guatemala. Bosque cultivado. 22 tandas de 2.7 m3 c/u a costo estimado de CA$ 2.3/m3 (1985)		140
B. Fabricación del carbón		
Mano de obra que incluye: preparación de leña (cortado, secado, carga manual, encendido, carbonización, enfriamiento, descarga, empacado en sacos de 11 kg y en bolsas de 1 kg).		
Costa Rica 2.5 hombre-año por horno, a CA $ 1300/hombre	410	
Guatemala 1.4 hombre año por horno a CA $ 600/hombre		125
C. Materiales auxiliares		
Tambores o toneles metálicos, bolsas tejidas de propileno de 0.1 m3, y bolsas plásticas de 1 kg.		
Costa Rica. 23 toneles a CA$ 10 cada uno	230	
4000 bolsas 1 kg, CA$ 0.01 c/u	40	
Guatemala. 25 toneles a CA$ 2.2 cada uno		55
400 bolsas 11 kg, CA$ 0.10 c/u		40
Totales parciales en CA$:	824	360

D. Supervisión.		
1 hombre-mes/año a CA$ 500/mes	100	100
E. Misceláneos.		
Impuestos, etc.	90	100
F. Gastos de venta		
Mercadeo, fletes carbón, etc	150	80
G. Depreciación de hornos		
Tres años, valor rescate 10%	100	80
TOTALES en CA$	1264	700

H. Costo Unitario en CA$/kg		
Producción carbón vegetal.		
Costa Rica. 3600 kg	0.35	
Guatemala. 4400 kg		0.16

I. Ingresos.		
3600 kg de carbón a 0.145 CA$/kg	522	
750 L líquido pirolеñoso a 0.18 CA$/L	135	
2000 kg de carbón a 0.09 CA$/kg		180
INGRESOS en CA$:	657	180
UTILIDAD EN CA$	-607	-520

ANEXO A-18. Bibliografía relativa al Horno Metálico.

1. Borrador preliminar de construcción y operación horno metálico mejorado. Preparado por el ICAITI.

2. Simple Technologies for Charcoal Making. FAO Forestry Paper, 1983.

3. The construction of a transportable charcoal kiln. Tropical Products Institute, Rural Technology Guide 13, 198.

4. Informe sobre pruebas de producción de carbón vegetal y líquido piroleñoso con un horno metálico. Ing. Sergio Araya, 1985.

5. La base experimentale de carbonisation. de l'association Bois de FUE Dominique Briane.

6. Carbón de leña; producción, venta y usos. US Department of Agriculture Forest Service, 1964.

ANEXO A-19. Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña Y Fuentes Alternas de Energía.

1) PUBLICACIONES EN EL PERIODO 1980-1987

Título	Año	Precio (US$)
- Leña y Fuentes Alternas de Energía: Estudios sobre leyes y políticas en América Central	1983	3.00
- Manual de construcción y operación. Planta de biogás	1983	2.00
- Manual de construcción y operación. Planta económica de biogás	1983	2.00
- Biogás: información general	1983	2.00
- Informe técnico de biogás. (Ensayos de sustrato)	1984	2.00
- Aplicaciones de biogás y bioabono	1985	2.00
- Digestor para biogás. Construcción convencional (Hoja de datos técnicos)	1984	0.50
- Digestor para biogás. Construcción de bajo costo (Hoja de datos técnicos)	1985	0.50
- Estufas domésticas: Pruebas de eficiencia energética	1984	3.00
- Estudio sobre la introducción y adopción de estufas de leña en cinco comunidades de Guatemala	1983	3.00*
- Manual de construcción y operación Estufa Chulah	1983	2.00*
- Manual de construcción y operación Estufa Lorena	1983	2.00
- Estufa de cerámica. Manual de construcción y operación	1985	2.00

* Publicación agotada; disponible solamente en fotocopia.

Publicaciones en el período 1980-1987 (Cont).

Título	Año	Precio (US$)
- Manual para estufas de uso colectivo. Construcción y operación	1984	2.00
- Producción de panela, con bagazo de caña	1987	2.00
- Informe del desarrollo de una estufa de cerámica	1985	2.00
- Colector solar plano. Manual para la fabricación	1986	2.00
- Aplicaciones de energía solar	1983	3.00
- Secado solar de granos.	1985	3.00
- Secadores solares Carpa y Wengert Construcción-uso-mantenimiento	1985	2.00
- Secado de madera	1986	2.00
- Conservación de productos marinos	1985	2.00

2) INFORMES FINALES, DISPONIBLES A PARTIR DE 1988

Título	Precio (US$)
- Aprovechamiento energético de biogás	3.00
- Digestor para biogás, construcción convencional	3.00
- Digestor para biogás, construcción de bajo costo	3.00
- Digestores especiales para biogás	3.00
- Aprovechamiento de efluentes de biodigestores	2.00
- Horno de leña para cal	1.00
- Horno de leña para producción de sal	1.00
- Estufas domésticas mejoradas: cerámica prefabricada	3.00
- Estufas industriales de leña	3.00
- Estufas domésticas mejoradas: Lorena y similares	3.00
- Hornilla para panela	2.00
- Hornos de leña para pan	3.00
- Horno para ladrillos	3.00
- Hornos para carbón vegetal	3.00
- Gasificador de biomasa	1.00
- Uso de energía solar y biogás para pasteurizar leche	3.00
- Pequeño secador para piña (Solar-combustión)	2.00

Publicaciones disponibles en 1988 (Cont)

Título	Precio (US$)
- Secador para cacao y granos. Solar-combustión	2.00
- Secado de madera aserrada. solar-combustión	4.00
- Calentador solar para agua	3.00
- Salinas solares	3.00
- Secamiento solar de pescado	3.00
- Curado solar de cebolla	3.00
- Secado solar de leña y bagazo de caña	1.00
- Secadores solares para fruta	3.00