

80
704
(13062)



I Curso sobre Carbón Vegetal para Centro América

Patrocinio y promoción:



Organización Latinoamericana de Energía

Ministerio de Energía y Minas de Guatemala

Colaboración y participación:



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC
Governo do Estado de Minas Gerais, Brasil/Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia



Florestal Acesita S.A, Brasil

Guatemala, Guatemala
1983

PRESENTACION

OLADE, con el propósito de presentar alternativas que permitan un uso más racional y eficiente de la Biomasa, realiza este primer Curso de Carbón Vegetal, con el coauspicio del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Si tomamos en cuenta que el carbón vegetal cubre una amplia gama de aplicaciones, sea como termoreductor en la siderurgia, energético sustituto del aceite combustible o productor de gas y alquitrán, entre otras, es obvia la importancia que tiene, para convertirse en una fuente comercial de interés para aquellos países vocacionados hacia su uso.

Dentro del marco del PLACE, se ha concebido el principio de desarrollos tecnológicos autónomos, sustentándose básicamente en aquellos ya aplicados en el área geográfica en nuestra cultura energética.

De ahí que en este curso se promueva la transferencia y tecnología desarrollada en Brasil, específicamente en el Estado de Minas Gerais, donde se produce el 93 por ciento, del total de 4.000.000 de toneladas anuales de carbon vegetal, utilizado en aquel país y las organizaciones estatales, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC y Florestal Acesita S.A. allí radicadas, han desarrollado una de las tecnologías más avanzadas en las áreas de bosques energéticos y carbón vegetal.

Cumplimos así, con la determinación de los Ministros de Energía de OLADE, en el sentido de promover la transferencia tecnológica regional y el uso de las fuentes autóctonas energéticas.



Ulises Ramírez Olmos
Secretario Ejecutivo de la
Organización Latinoamericana de Energía/OLADE.

CONTENIDO

FORMACION, MANEJO Y EXPLOTACION DE BOSQUES HOMOGENOS PARA PRODUCCION DE ENERGIA	José Geraldo Rivelli Magalhães	9
PRODUCCION DE CARBON VEGETAL ASPECTOS TECNICOS	Joffre Batista de Oliveira Antônio Vivacqua Filho Marcelo Guimarães Mendes Paulo Aguinélio Gomes	37
PROPIEDADES DEL CARBON VEGETAL	Joffre Batista de Oliveira Paulo Aguinélio Gomes Marcelo Guimarães Mendes	65
RECUPERACION DE ALQUITRAN EN HORNOS DE ALBANILERIA	Cláudio Almeida Medeiros Maria Emilia Antunes Rezende	107
BRIQUETAJE DE CARBON VEGETAL	Ricardo da Cunha Antunes	127
UTILIZACION DEL CARBON VEGETAL EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO	Benami Waisberg	147
USO DE GASOGENO EN MOTORES DE CICLO OTTO	Warner Siquieroli	167
USO DE GASOGENO EN MOTORES DE CICLO DIESEL	Luiz Antônio Leite de Faria	181
ASPECTOS ECONOMICOS DE LA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL	Gilson Celso Vaz de Melo Silveira	197
MANUAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE HORNOS DE CARBONIZACION	Aluisio Marri Joffre Batista de Oliveira Marcelo Guimarães Mendes Paulo Aguinélio Gomes	223

FORMACION, MANEJO Y EXPLOTACION
DE BOSQUES HOMOGENEOS PARA
PRODUCCION DE ENERGIA:

UNA EXPERIENCIA BRASILEÑA.

José Geraldo Rivelli Magalhães*

1. Introducción.
2. Fases del proyecto forestal.
3. Las operaciones que componen el proyecto forestal.
4. Tipos de viveros e fase del proceso de produção de almacigos.
5. Mantención forestal
6. Protección forestal
7. Explotación forestal
8. Manejo de la regeneración
9. Impactos sociales de la formación de forestas para la producción de carbón vegetal.
10. Dimensionamiento de la unidad padron de producción.
11. Bibliografía.

* Asistente de la Direccion de la Florestal Acesita S.A.

I INTRODUCCION

La biomasa forestal es todavía la principal fuente primaria de energía en un gran número de naciones en desarrollo, situadas en la región intertropical.

En verdad, el uso de los bosques viene ocurriendo de manera predatoria, exterminándose el recurso natural sin utilizar la característica más importante de la biomasa, esto es, su renovabilidad.

La consecuencia natural de tal proceso, es la escasez de recursos forestales que se observa ya en varios países, resultando como corolario, una situación dramática para los grupos humanos de pocos recursos, que cada vez gastan más de sus ingresos o salarios con el abastecimiento de leña para uso doméstico.

De este modo, resulta un cuadro que muestra la dependencia cada vez mayor de estos países, a los energéticos no renovables, con las consecuencias negativas sobre sus economías.

Lo que tentamos mostrar en este trabajo, es una experiencia de producción de energía de biomasa forestal, desarrollada en Brasil, y que por su actual grado de realización, nos permite algunas afirmaciones en cuanto a la posibilidad de aplicación en otros países.

La experiencia brasileña de siderurgia a carbón vegetal, es única en el mundo por su magnitud y avance tecnológico.

Brasil, a partir de 1967, cuando el gobierno creó una política forestal, concediendo incentivos fiscales a las empresas, se inició un gran programa de reforestamiento que, en 17 años, posibilitó la formación de una foresta de más de 5 millones de hectáreas, de las cuales, 54% están cubiertas con Eucaliptus 31% con Pino y el resto con diferentes especies de poco significado.

Se consiguió romper el ciclo de agotamiento de bosques naturales, a través de la implantación de un amplio programa forestal, que en estos momentos se revela con capacidad para cubrir otras necesidades, como por ejemplo, la substitución de derivados del petróleo en la industria cerámica y cementera. Los plantíos de pinos se destinan, básicamente, al abastecimiento de las industrias de celulosa de fibra larga y a los aserraderos. En el caso de los eucaliptus, el 35% se destina a la industria de celulosa y chapas, 40% a la industria siderúrgica y el resto como energético en diferentes usos industriales, especialmente el cementero y el cerámico.

2 FASES DEL PROYECTO FORESTAL

2.1. ELECCIÓN DEL ÁREA

La selección de una región para reforestamiento es función, básicamente, de las características edafoclimáticas locales, infraestructura y disponibilidad de mano de obra.

Un factor de gran importancia que puede impedir un área que presente los requisitos, anteriormente citados, es la distancia geográfica, en relación a los centros de consumo, debido a los crecientes costos de transporte.

En el Estado de Minas Gerais, en Brasil, el mayor centro mundial de producción y consumo de carbón vegetal, el material, proveniente de forestas nativas, es transportado de una distancia media de 350km, cuyo costo representa 34% de su valor real.

La distancia máxima económicamente viable será determinada, también, por el tipo de producto consumido. Si la madera fuera utilizada directamente para quema, el radio de transporte será muy inferior al soportado por el carbón, que es una forma concentrada de energía.

2.2. ELECCIÓN DE LA ESPECIE

En la elección de la especie se debe tomar en cuenta las interrelaciones entre la finalidad de la materia prima y las características edafo-climáticas, aparte de la disponibilidad de semillas.

La implantación de un programa de reforestación a largo plazo, debe ser basado en resultados de investigaciones, cuyo primer paso debe ser la identificación de especies forestales de mayor potencial dentro de las características deseadas.

El comportamiento diferencial entre especies y entre orígenes de una misma especie, demuestra la importancia de la realización de zoneamiento ecológico para determinar correctamente la elección de la procedencia de la semilla.

Definido los parámetros de calidad de la materia prima, ya se tiene una primera selección de las especies. Por ejemplo, para las empresas que utilizan la madera como insumo energético, una característica importante es la densidad. Esta es función de la especie, edad de corte, tasa de crecimiento y, presenta alta correlación con la densidad del carbón, conforme lo demuestran los cuadros 1 y 2.

2.3. SUMINISTRO DE SEMILLAS

El suceso de una empresa forestal puede ser frustrado por la mala calidad de la semilla que da origen a arbolados de baja productividad.

El suministro de semillas de buena calidad es, sin duda, el gran desafío de los ingenieros forestales brasileños, toda vez que la demanda de, aproximadamente, 20.000 kg/año, el país produce, actualmente, cerca de 30%.

Para superar este problema, se implantó un programa agresivo en áreas productoras de semillas, pasando a substituir, con gran ventaja técnica y económica, el material importado. A través de la producción nacional, será posible una selección adecuada a las condiciones ecológicas brasileñas, a la finalidad de la materia prima y, por posibilitar un control de calidad, lo que se hace impracticable a través de la importación.

Dentro de, un máximo, 5 años, Brasil pasará a ser auto suficiente en semillas forestales, pudiendo pasar, a partir de ahí, a la condición de exportador.

3.1. PRODUCCIÓN DE ALMACIGOS

La producción final de un macizo forestal es función de la calidad de la semilla, de la buena preparación del suelo, su correcta fertilización y de la mantención del arbolado durante el período de maduración.

Estos factores se integran y es importante considerar que, en cada etapa, cada uno tiene gran importancia. Por ejemplo, no sirve de nada el empleo de una semilla mejorada genéticamente en un local inadecuado o mal preparado y vice-versa.

La fase de vivero es una de las que absorbe gran contingente de mano de obra, toda vez que los métodos, aun empleados, son todos manuales.

En lo que se refiere al tipo de almacigos, se tiene a los producidos a partir de semillas - que es el proceso clásico - y las producidas a partir del enraizamiento de ganchos.

Para ambos tipos, el sistema de embalajes, tradicionalmente empleado, es el de saco plástico.

- mejor aprovechamiento de los días favorables para la plantación los almácigos son llevados con mayor rapidez para el local de plantación, habiendo, por tanto, un mejor aprovechamiento de los días que dan condiciones ideales para plantar.

Como desventajas citamos:

- dificultad de administración - exige mayor número de empleados en la supervisión;
- transporte de trabajadores - necesidad de transporte diario de operarios, desde sus residencias hasta el local del vivero.

4.3. PREPARACIÓN DE RECIPIENTE

Para relleno de embalajes, se utiliza tierra del subsuelo a la cual, en general, se le adicionan fertilizantes. Algunas empresas han hecho la aplicación de fertilizantes a través del agua de irrigación que, aparte de hacer la operación más barata, permite un control efectivo de la uniformidad de distribución y de los niveles de aplicación, posibilitando acelerar o retardar el crecimiento.

Después del relleno, se procede al sembrado que se hace, en promedio, entre 100 y 120 días antes de la plantación, colocando entre 3 y 4 semillas por recipiente.

La etapa siguiente abarca las operaciones de manejo del vivero propiamente dicho, o sea, el control de irrigación, enfermedades, plagas y hierbas dañinas, aparte de las selecciones y desbroces.

Cuando la producción de almácigos es por enraizamiento de estacas o ganchos, los costos difieren, toda vez que las instalaciones y operaciones siguen sistemáticas diferentes. Se emplean casas de vegetación, que son estructuras de madera cubiertas con PVC y plástico transparente, con control de luz, temperatura y humedad relativa. Los brotes seleccionados son cogidos en el campo y los ganchos son preparados en la casa de vegetación, donde reciben un tratamiento preventivo con defensivos y, en algunos casos, hormonas, y son colocados en los recipientes donde permanecen por 45 días. En seguida son llevados para el local a cielo abierto, para aclimatación, por un período igual, en las que estarán prontas para ser plantadas. En este caso, los recipientes tienen las mismas características de aquellos utilizados en los viveros clásicos.

Recientemente, una nueva técnica para la producción de almácigos está siendo introducida en el país, a partir de adaptaciones del sistema adoptado en Haway. Este método, denominado "dibble tube", se maifiesta bastante promisor en términos técnicos y económicos.

Consiste, básicamente, en la utilización de tubos de polipropileno colocados en bandejas de isopor, teniendo, como subestrato, la vermiculita. El método tiene gran potencial, especialmente para áreas montañosas, pues, por el subestrato utilizado, una bandeja sustentando 96 plantas pesa 5 kg, mientras que el embalaje tradicional, con 20 plantas, pesa 20 kg.

4.8. PLANTACIÓN

La operación de plantar, propiamente tal, es realizada de diferentes maneras, en función de las condiciones topográficas y climáticas, que determinan la necesidad o no del empleo de riego. Aquellas en las que la plantación es totalmente manual o semimecanizada.

4.9. PLANTACIÓN MANUAL

Se utiliza donde los locales son de topografía accidentada, distinguiéndose las siguientes fases:

- marcadura de hoyos con "cadena";
- perforación de los hoyos;
- fertilización;
- distribución de almácigos;
- plantación.

Tiene como limitación el hecho de poder ser realizado solamente en períodos con condiciones favorables, de lluvia e/o poco sol, por no permitir la práctica de riego.

4.10. PLANTACIÓN SEMI MECANIZADA

Es realizado donde hay condiciones de mecanización parcial o total. No existe, hasta el momento, el plantío totalmente mecanizado, debido principalmente al tipo de embalaje utilizado.

Dentro del nivel de la tecnología en uso, las siguientes operaciones componen el plantío semi mecanizado:

- abertura del surco;
- fertilización mecanizada o manual;
- distribución mecánica o manual de almácigos;
- plantío manual.

4.11. ESPACIAMIENTO

La formación de bosques homogéneos en el país, hasta el final de la década pasada, estaba apegada a padrones tradicionales y, entre ellos, el espacioamiento. Los plantíos con recursos propios hasta 1967, especialmente los de las empresas siderúrgicas, fueron realizados en el espacioamiento 2,0 x 2,0m, con 3 cortes de 7 en 7 años.

Posteriormente, con el advenimiento de los incentivos fiscales y la utilización de fertilizantes, el espacioamiento fue ampliado para 3,0 x 2,0m. Este espacioamiento permaneció hasta hace poco tiempo, habiendo sido substituido por el de 3,0 x 1,5m.

De acuerdo con la finalidad de la materia prima, de ser establecido el espacioamiento del plantío, lo que influencia directamente la edad del corte. En los plantíos más densos habrá una mayor competencia por luminosidad y nutrientes y esto será evidente con mayor rapidez que en aquellos donde existe un menor número de plantas por unidad de área, portanto, estos pueden ser cortados a edades mayores que los anteriores.

Para la fabricación de carbón vegetal, los resultados de las investigaciones en marcha revelan que la madera proveniente de árboles jóvenes, y por ésto, de menores dimensiones, dan origen a un producto de mejores características físicas y mecánicas.

Hasta hace poco, la corrección de los suelos con fertilizante mineral, fue basada, substancialmente, en el empleo de formulaciones NPK de forma emprírica, aleatoria y generalizada, sin tomar en cuenta las condiciones edafo-climáticas de cada región.

El creciente aumento de los costos de los fertilizantes minerales, esta forzando un cambio en los experimentos, en la búsqueda de formas más económicas de fertilización, sin perjudicar la fertilidad.

La formulación NPK más utilizada en el país, por las diversas empresas forestales, todavía es 10-28-6 + Boro, cinc y cobre a razón de 80 a 100 g/hoyo. Actualmente la FLORASA utiliza, en función de los resultados experimentales, la formula 5-30-10-B, y está obteniendo datos experimentales tratando de verificar la necesidad de nuevas alteraciones.

De manera general, independiente de la adecuación de la fórmula y de los niveles a ser empleados, es incontestable el efecto positivo de la aplicación de los fertilizantes.

Comparando areas sin fertilizantes con áreas fertilizadas, los resultados de la experiencia muestran que la producción de las áreas con fertilizantes son de 50 a 76%, superiores a las áreas no fertilizadas.

En orden de importancia de los macro nutrientes, para suelos con vegetación espesa, el fósforo (P) se presenta como el más limitante, seguido por el potasio (K), y, por último, por el Nitrógeno que, por los relativamente altos porcentajes de materia orgánica en el suelo, no llega a ser muy crítico.

A partir de la aplicación del fertilizante, varios ensayos fueron realizándose con la idea de encontrar la mejor época y localización, en relación a la planta. No hay diferencias notorias con relación al modo de aplicar, sin embargo, predomina la aplicación en el hoyo o en el surco, en el momento de la plantación y hasta en la cobertura, en lo máximo, 30 días después. Cada empresa adopta una sistemática en función del modelo de trabajo. Algunas, utilizan equipos que hacen el surcado y la distribución simultánea del fertilizante, otras hacen la distribución manual y, en este caso, el fertilizante es colocado por hoyo en el plantío o en cobertura. Estas variaciones pueden ocurrir también en función de la topografía y/o de las condiciones climáticas.

En los períodos de calor, cuando el plantío es efectuado con riego en el hoyo, se pone el fertilizante después que la planta está completamente establecida, para no provocar alteraciones fisiológicas en las plantas recién plantadas.

Aparte de los macronutrientes, son agregadas a las formulaciones convencionales de fertilizantes, el cobre, el boro y el cinc. Recientemente, con un respaldo experimental, está siendo descartado el cobre y el cinc, permaneciendo sólo el boro, que tiene importante función fisiológica, teniendo asociada a su deficiencia el hecho de que se sequen las yemas o las puntas, síntomas comunes en los plantíos de eucaliptos, en el período de mayor deficiencia de agua en el suelo.

5 MANTENCION FORESTAL

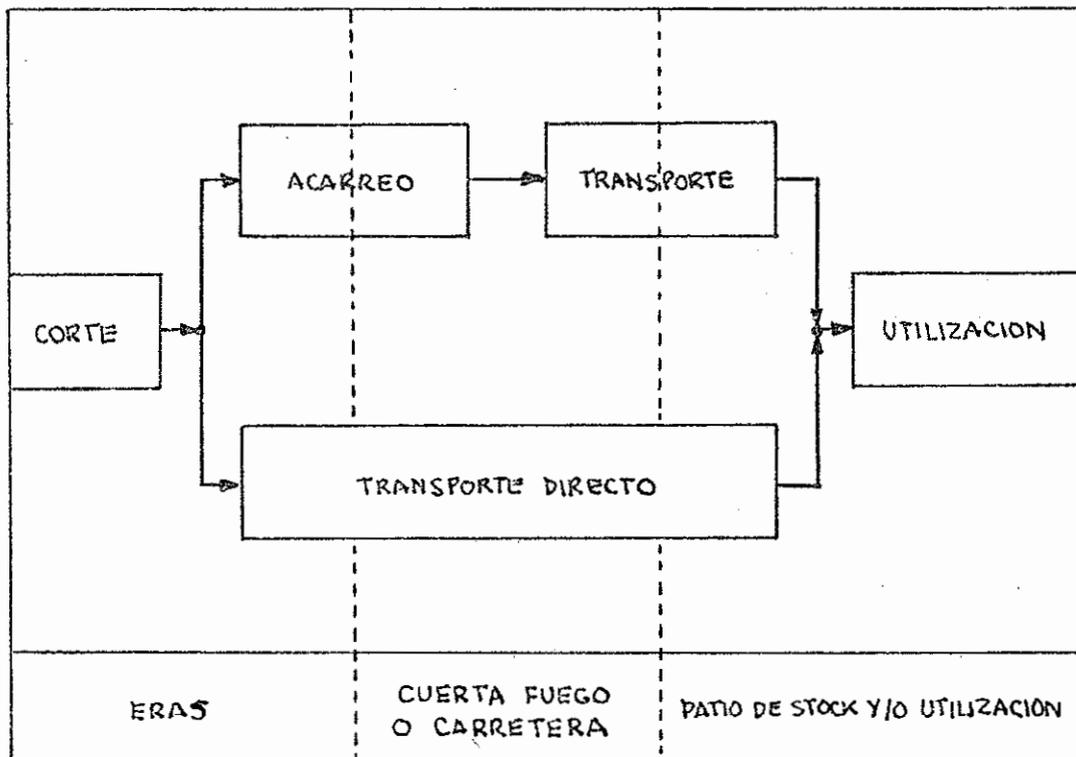
En esta fase se incluyen las operaciones de limpieza de los macizos forestales, combate a las hormigas cortadoras, protección contra incendios y plagas.

En general, la limpieza de los macizos forestales es hecha en forma mixta en las áreas planas, donde se utilizan parrillas livianas, traccionadas por tractores de neumáticos, para limpieza en las entrelíneas y la complementación manual entre las plantas. Este sistema es limitado por el espaciamiento que, si se reduce, no permite la mecanización. El desmalezamiento químico, o sea, el empleo de herbicidas no es, hasta el momento, una técnica muy difundida en el área forestal, por su alto costo, eficiencia, etc.

7 EXPLOTACIÓN FORESTAL

Los sistemas de explotación forestal, de la misma forma que las operaciones de preparación del suelo y del plantío, varían de región a región y de una empresa para otra, y siguen, básicamente, el fluxograma que se indica:

FLUJO DE LAS OPERACIONES DE EXPLOTACION FORESTAL



8. MANEJO DE LA REGENERACIÓN

El género *Eucalyptus* tiene la propiedad de regenerarse por brotes y esto permite el corte raso en rotaciones cortas.

Tradicionalmente el ciclo de corte adoptado, en la mayoría de las empresas, es de siete años. En los últimos dos años, surgió una tendencia a la reducción del ciclo de corte, reduciéndose también, el espaciamiento de plantación y, consecuentemente, aumentando el número de corte.

Este hecho dió origen al neologismo "Forestas Energéticas", empleado para definir las arboledas formadas dentro del sistema de mayor densidad de plantas por hectáreas y corte, en intervalos menores que el tradicional.

Técnicamente, el concepto correcto debe ser: "Forestas de ciclo corto", que las distingue de las de ciclos más largos, con tres cortes en el período de 20 a 21 años. Esta posición se toma en el sentido de estimular la utilización de una terminología correcta, pues cualquier tipo de bosque puede ser utilizado para energía.

En Brasil, desde la década del 40, ACESITA y otras siderúrgicas reforestaron para utilizar el carbón en sus altos hornos, es decir con fines energéticos, utilizando los espaciamientos tradicionales como 2,0 x 2,0m; 3,0 x 3,0m y 3,0 x 1,50m.

Por manejo de la regeneración se entienden los tratamientos de cultivo realizados en los macizos después del corte.

En esta fase, se repiten los mismos cuidados proporcionados en los primeros meses de la plantación. Cuando han transcurrido cerca de 12 meses, se efectúa el desbrote que consiste en la selección de dos o tres varas, como promedio, por cepa, eliminándose las demás. Este es el procedimiento clásico adoptado para las plantaciones con espaciamiento tradicionales.

Con respecto a la fertilización de la regeneración, aún no se tiene una correcta definición de los niveles, épocas, métodos y fuentes de los elementos minerales. En general, no se hace la fertilización en la regeneración.

En el caso de macizos de alta productividad un procedimiento en experimentación es el del inter-plantío, que consiste en recomponer, poco después del corte, las fallas de plantación y las que provienen de la no emisión de brotes provocada por factores genéticos, ambientales, plagas, enfermedades y daños mecánicos causados por las herramientas de corte y/o máquinas y equipos de explotación.

9 IMPACTOS SOCIALES DE LA FORMACIÓN DE FORESTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL

La actividad de reforestamiento, integrada a la producción de carbón vegetal, es típicamente intensiva en mano de obra.

Es importante subrayar que el empleo es generado en áreas rurales y en bases permanentes. En efecto, la recolección de la foresta no está sujeta a ningún tipo de estación, ya que se practica regularmente a lo largo del año.

Como actividad extractiva, el acarbonamiento representa, también, un importante papel en la abertura del ciclo de desarrollo económico, siempre, históricamente ligado a este tipo de producción.

En efecto, la generación de una cantidad de empleos permanentes, en áreas donde prevalece la economía de subsistencia, produce el efecto y quiebra la inercia económica, estimulando como primer factor multiplicador el crecimiento del comercio local y, en una segunda etapa, el surgimiento de pequeñas y medianas empresas industriales volcadas a la atención de las nuevas demandas (morada, muebles, vestuario y alimentación).

No se trata aquí de trazar un modelo teórico pero sí, de presentar la síntesis de lo que ya observamos en áreas del Norte y Noroeste minero. La inversión para la generación de un empleo directo, como lo muestra el cuadro que sigue, se sitúa en US\$ 15,620.00 para sistemas con mano de obra intensiva, y en US\$ 26,380.00 para sistemas mecanizados. De cualquier manera, se trata de una inversión comparable con los valores medios encontrados en la agricultura de su carácter permanente. Finalmente, siempre es oportuno recordar que aquí tratamos de un sistema de producción de energía, sin riegos de prospección de fábricas y capaz de generar un producto extremadamente competitivo, en términos reales, con el petróleo, aunque sea a US\$ 28.00 por barril. En efecto, una tonelada de carbón vegetal se puede producir con US\$ 70.00 a US\$ 90.00, variación ésta que es función de la mayor distancia de transporte y del incremento forestal.

Esto sería equivalente, nivelando los poderes caloríficos, a un petróleo de US\$ 150.00/ton contra los US\$ 200.00 actuales.

Inversiones para generación de empleo.

Plantación 1.000 hectáreas.

Producción 3.000t/mes de carbón vegetal

10 DIMENSIONAMIENTO DE LA UNIDAD PADRON DE PRODUCCIÓN

Una unidad de producción debe tener dimensiones tales que pueda ser manejada en régimen de producción sostenida, o sea, el equilibrio entre el programa de plantación y el de explotación forestal.

En el presente caso, se partió de índices de productividad forestal y de producción de carbón obtenido en la Florestal Acesita para que sirvieran de sustento a los cálculos de las inversiones necesarias, considerando solamente los costos directos, los cuales pueden sufrir oscilaciones, en función de tipos de equipos e insumos, sistema de trabajo, etc.

Perfil técnico

- Área con topografía plana

Cobertura florestal original: porte medio.

Espaciamiento: 3,0 x 1,5 m

Fertilización: 40 gramos NPK/hoyo + 1,5 t/ha de fosfato natural.

Productividad: 20 m³/ha/año en los 3 ciclos

Relación leña verde/carbón: 1,5 m³

Ciclo de corte: 6 años

Número de cortes: 3

Aspectos financieros

Implantación= US\$ 522/ha

Mantenimiento = US\$ 46/ha

Explotación = US\$ 217/ha

Reforma = US\$ 552/ha

ASPECTOS FINANCIEROS (US\$ / año)

Año	Plantación	Mantención	Exploración	Reforma	Total
1	552.000	-			552.000
2	↓	46.000			598.000
3		92.000			644.000
4		138.000			690.000
5		184.000			736.000
6	↓	230.000			782.000
7		276.000	217.000		493.000
8		↓	↓		493.000
9					493.000
10					493.000
11					493.000
12					493.000
13					493.000
14					493.000
15					493.000
16					493.000
17					493.000
18		↓			493.000
19				552.000	769.000
20		46.000		↓	815.000
21		92.000			861.000
22		138.000			907.000
23		184.000			953.000
24		230.000	↓	↓	999.000
Total	3.312.000	4.692.000	3.906.000	3.312.000	15.222.000

PRODUCCION DE CARBON VEGETAL - ASPECTOS TECNICOS.

Joffre Batista de Oliveira, MSc*

Antônio Vivacqua Filho, PhD*

Marcelo Guimarães Mendes, MSc*

Paulo Aguiñélio Gomes, MSc*

1. Introducción.
2. Composición de la madera.
3. Cinética de la carbonización.
4. Carbonización de la madera y sus componentes.
5. Aspectos Técnicos de la carbonización.
6. Bibliografía.

* Investigador de la Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC.

1. INTRODUCCIÓN

La reorientación de la política energética del País, después del impacto de la crisis del petróleo, nos obligó a procurar en la utilización de nuestros propios recursos naturales, la solución para el sustituto del petróleo.

Brasil, con amplia disponibilidad de tierras, aliado al echo de ser un país tropical, con alto índice de insolación, descubrió en la bio-masa la solución para este grave problema.

Con este cuadro, el carbón vegetal aparece como destaque, ya que se trata de un insumo energético ampliamente utilizado por la siderúrgica brasilera, y por ser renovable, es una fuente inagotable de energía.

Se han realizado varios estudios tratando de mejorar los actuales hornos de carbonización, en los cuales la recuperación del alquitrán ya está siendo practicada por varias empresas. La dependencia de la actual sociedad industrial de una fuente agotable de energía, el petróleo, puede ser substituida a medio plazo por el uso de la madera, al menos en lo que se refiere al uso como materia prima para la obtención de compuestos para la industria química.

La comprensión de las etapas y de los fenómenos que ocurren con la madera durante la carbonización, irán a contribuir, decididamente, para efectuar cualquier tipo de modificación que se quiera introducir en el proceso.

Será presentada una breve descripción de los principales aspectos y de los diversos fenómenos que ocurren durante la carbonización de la madera, procurando correlacionar esos fenómenos con los aspectos técnicos, principalmente a los que se refieren al rendimiento de los productos de la destilación de la madera.

Tabla I - Análisis elemental de la madera

Composición química, %	Referencia	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		Media
						*	**	
Carbono		50,0	48,5 - 50,5	50,0	40,0	40,0	50,0	46,9
Oxígeno		44,0	43,0 - 45,0	43,5	34,2	34,0	42,5	40,8
Hidrógeno		6,0	6,0 - 7,0	6,0	4,8	4,8	6,0	5,7
Nitrógeno y Cenizas		1,0						1,0
Nitrógeno				0,1		0,4	0,5	0,3
Cenizas				0,4	1,0	0,8	1,0	0,8
Agua					20,0	20,0	-	20,0

* - Madera seca al aire

** - Madera anhidra

Tabla II - Proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina en la madera

Componente %	Referencia	(1)	(2)	(3)	(6)		Media
					*	**	
Celulosa		50,0	30,0 - 63,0	40,0	40,0 - 44,0	43,0 - 47,0	44,7
Hemicelulosa		25,0	20,0 - 30,0	40,0	25,0 - 29,0	25,0 - 35,0	29,4
Lignina		25,0	20,0 - 30,0	20,0	25,0 - 31,0	16,0 - 24,0	23,6
Extractivos					1,0 - 5,0	2,0 - 8,0	4,0

* - Madera blanda

** - Madera dura

internamente, para cualquier tiempo de exposición al calor, lo que equivale a decir que existe una variante técnica de la superficie para el centro.

Cada intervalo de tiempo de exposición, definirá diferentes períodos del proceso que pueden ser identificados como:

- . período I: $0 < t < t_1$
- . período II: $t_1 < t < t_2$
- . período III: $t_2 < t < t_3$
- . período IV: $t_3 < t < t_4$
- . período V: $t_4 < t < t_5$

con el incremento de calor, el pedazo de madera tendrá un tiempo t_1 , en el cual será iniciada la descomposición de la madera, a partir de su superficie externa. Comienza aquí la formación de una interface llamada "frente de pirólisis" localizada entre la madera y la "zona o camada de pirólisis".

Inicialmente hasta el tiempo t_1 , que corresponde al período I, existe solamente la madera en su estado original, sin sufrir cualquier transformación. El calor que es proporcionado del exterior se propaga en la madera por conducción.

A partir del tiempo t_1 , correspondiente al período II la madera comienza a sufrir las primeras modificaciones producidas por el calor. Las modificaciones comienzan a ocurrir a partir de la superficie para el interior de la madera, la cual permanece, aun, sin ninguna modificación. Con el transcurso del tiempo de exposición, la zona o camada de la pirólisis, entonces formada en este período, aumentará y avanzará hacia el interior de la madera. En este período ya se puede identificar una prueba intermedia llamada zona o camada de pirólisis y sobre esta camada la madera sigue siendo calentada.

El área de cada una de estas camadas proporciona una idea relativa de su proporción en cada intervalo de tiempo. Hasta el período II la madera en su estado natural, es la mayor porción de la pieza, cuando se inicia el proceso en la zona de pirólisis. Entonces los gases calientes formados en la zona de pirólisis transportan calor para el exterior (convergen) en dirección opuesta a la transferencia de calor, del medio externo, lo que ocurre por conducción.

La próxima etapa del proceso es representado por el período III, cuando se inicia la formación del carbón. A esta altura del proceso coexisten 3 zonas distintas:

- . zona interna, que contiene la madera sin sufrir transformación;
- . zona intermedia o camada de pirólisis;
- . la zona o camada de carbón, de la cual fueron extraídos los componentes volátiles.

La madera ya sufrió un grado de transformación, cediendo el lugar a la zona de la pirólisis que ya alcanzó el centro de la pieza. La transferencia de calor en la zona del carbón se da a través de la conducción y convección (gases afluentes). Por otro lado, otros fenómenos ocurren en esta camada. Los gases más pesados formados durante la carbonización, sufren una descomposición catalizada por el carbón caliente. Los gases más leves formados así, al pasar para el exterior pueden encontrar el oxígeno de la atmósfera produciendo una reacción de combustión (exotérmica), dando energía a la superficie del carbón, portando bien localizada.

Estimamos que una pieza de eucalipto de 15 cm de diametro, sometida a las mismas condiciones de la experiencia de Schaffer, pero con el calor siendo provisto en toda la superficie de la pieza, sería aproximadamente carbonizada en 2 horas, si despreciamos el tiempo de formación de la primera camada de carbón (de 1/4" de espesor).

Figura 1 - Modelo de carbonización de Kanury y Blackshear.

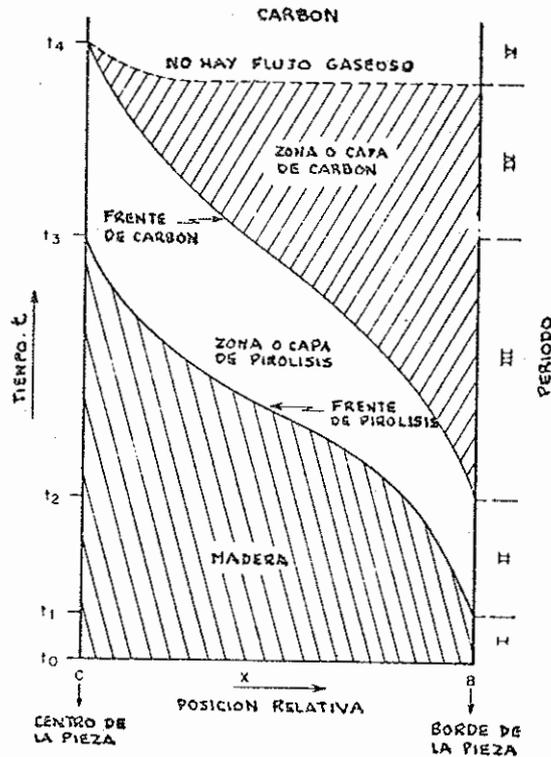
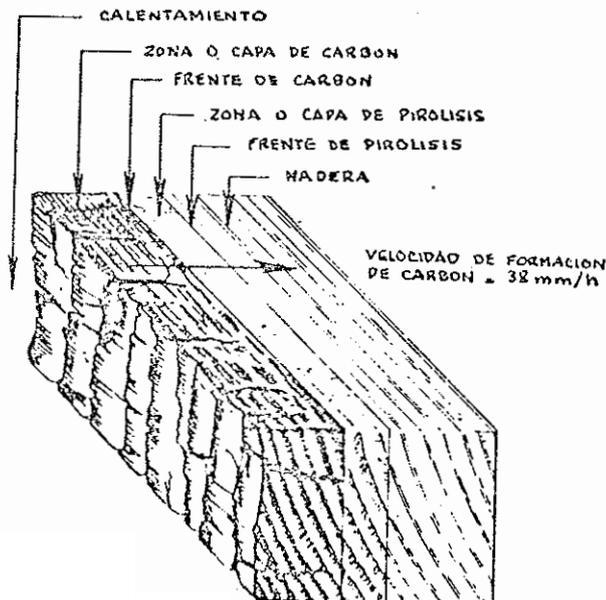


Figura 2 - Modelo de carbonización de Holmes.



Aunque la lignina comience a degradarse a temperaturas más bajas, a partir de los 150°C, se observa, al contrario del comportamiento de la celulosa y la hemicelulosa, que la degradación de ésta es más lenta. La lignina pierde peso aun en temperaturas superiores a los 500°C, dando como resultado un residuo carbonoso. La pérdida del peso final experimentado por la lignina es bien menor de que la de los otros dos componentes de la madera.

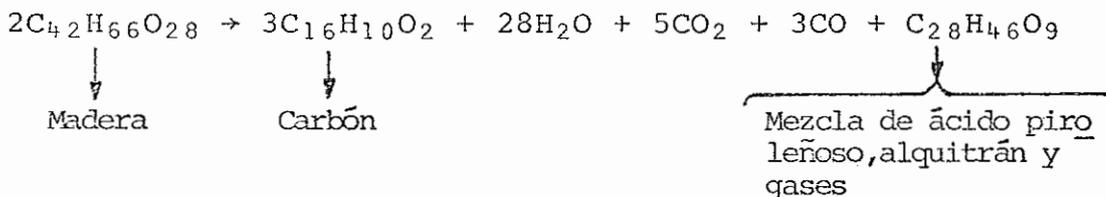
La curva termogravimétrica de la madera, también presentada en la figura , refleja, de manera aproximada, la suma de los comportamientos individuales de cada componente.

Los datos encontrados en la literatura sobre pirólisis de madera son generalmente comprometedores, ya que los resultados dependerán de las condiciones en que la madera se encuentre y principalmente cómo la experiencia fue conducida (condiciones experimentales), de los aparatos usados y otros factores. En el caso de la termogravimetría, por ejemplo, el incremento de calor y la sensibilidad del aparato podrán influir decididamente en nuestros datos obtenidos. La tentativa de agrupar todos los datos no siempre es posible, ya que las condiciones experimentales no son claramente descritas y hay veces hasta omitidas.

Se observó que la manera de agrupar los fenómenos que ocurren durante la carbonización, difiere de un para otro.

Uno de los grandes objetivos de los investigadores es sacar la venda a todas las reacciones que ocurren con la madera, a fin de expresar el proceso de carbonización bajo la forma de una ecuación química.

Se debe a Klason y otros citados por Klar⁽⁴⁾ esta primera tentativa que elaboró la ecuación que representaría los fenómenos que ocurren con la carbonización de la madera, a 400°C:



Esta ecuación genérica no contiene todos los productos obtenidos en la destilación de la madera y es debido a la agrupación de los condensables en un solo compuesto que no permite la identificación de la cantidad de alquitrán y de ácido piroleñoso. Otros componentes del carbón como la regla de la humedad, cenizas y materiales volátiles, tampoco son abordados.

Esos autores propusieron que la madera y el carbón vegetal pueden ser expresados respectivamente por medio de las fórmulas: $C_{42}H_{66}O_8$ y $C_{16}H_{10}O_2$.

Cálculos estequiométricos muestran que las reglas del carbono y oxígeno en la madera son de 49,5% y 44,0%, respectivamente. Después de la carbonización estos elementos participan en el carbón en diferentes proporciones, o sea, el carbono con aproximadamente 82,1% y el oxígeno con 13,7%. La reacción de la carbonización de la madera expresada por la ecuación E.1 tiene la ventaja de mostrar que el proceso de carbonización consiste, básicamente, en concentrar carbono y expulsar oxígeno, con el consecuente aumento del contenido energético del producto. La relación contenido de carbono en el

carbón vegetal contenido de carbono en la madera es de aproximadamente 1.7.

El carbón vegetal consigue retener 57% del carbono inicial contenido en la madera. El carbono restante, esto es, no contenido en el carbón vegetal, está contenido en los gases y no en el líquido condensado. Por otro lado, cerca del 89% del oxígeno (contenido en la madera) son expulsados bajo la forma de gases y líquido condensado, contribuyendo para mejorar el poder calorífico del carbón resultante. Teóricamente, el rendimiento en carbón es de 34,5% conteniendo 82,1% de carbono, cuando ha sido carbonizado a 400°C. Este rendimiento está bien próximo de los resultados obtenidos en experiencias realizadas en CETEC, en la destilación de eucaliptos en una retorta eléctrica.

A continuación, serán presentados algunos aspectos relacionados con la descomposición de cada uno de los componentes de la madera.

4.2. CARBONIZACIÓN DE LA CELULOSA

Es el componente de la madera más fácil de ser aislado siendo, portanto, el componente más estudiado por los investigadores.

Algunos de los productos obtenidos en la pirólisis de la celulosa, son mostrados en la tabla III. Las experiencias llevadas a temperaturas de 300°C fueron realizadas en una atmósfera de nitrógeno.

La temperatura de carbonización y la presión, como era de esperar, producen notables efectos sobre los rendimientos de los diversos productos.

La celulosa produce, sobre la atmósfera del nitrógeno, 34,2% de carbón a 300°C. Este rendimiento, por consiguiente disminuye vigorosamente con el aumento de la temperatura y a 600°C la degradación de la celulosa es casi completa, dejando un residuo de carbón de solamente el 5%. Como el proceso de carbonización en hornos de albañilería sucede a temperaturas superiores a 300°C se hace fácil concluir que la contribución de la celulosa en el rendimiento gravimétrico de este proceso es muy poca.

El empleo del vacío, durante la carbonización, disminuye el rendimiento en carbón, mas aumenta apreciablemente el rendimiento en alquitrán.

Este efecto ocurre debido al cambio provocado en las interacciones de los átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, que irán a reaccionar de formas bien diferentes.

Estudios de carbonización al vacío, efectuados por CETEC, comprobaron el comportamiento discutido. En general, los procedimientos que objetivan el alto rendimiento en carbon son perjudiciales para la producción del alquitrán y viceversa.

El mecanismo de estas reacciones, ahora algunas teorías ya existentes explican algunos pasos o etapas del proceso, aun permanece sin un esclarecimiento, debido a la naturaleza y al número de los compuestos formados.

correlación directa entre el rendimiento en carbón y la regla de la lignina de diversas maneras.

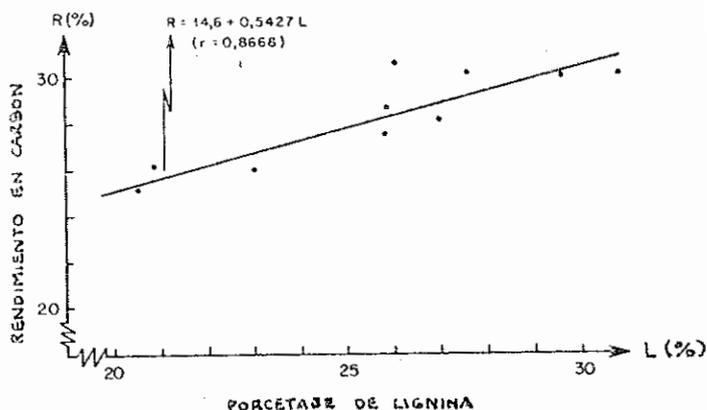
Brito y Barrichelo⁽¹²⁾ establecieron una relación de dependencia entre la proporción de la lignina contenida y el rendimiento gravimétrico en carbón. El gráfico de la figura 4 muestra el resultado obtenido por estos investigadores. Puede verse, en esta figura, que cuanto mayor es la proporción de la lignina, mayor será el rendimiento en carbón. El segundo producto en abundancia obtenido en la pirólisis de la lignina es la fracción condensable, llamada de líquido condensado. El líquido condensado es rico en agua y contiene apreciable cantidad de ácido acético, acetona y metanol. Tiene, aun, la formación de apreciable cantidad de alquitrán (15%) y volátiles no condensables (12%).

Tabla V - Productos de la pirólisis de la lignina entre 450 e 550°C

Fracción	Productos	Rendimientos %
Carbón	Residuo carbonoso	55
Alquitrán	Compuestos fenólicos	15
Líquido condensado	Agua, metanol, acetona, ácido acético	20
Gases no condensables	Monóxido de carbono, metano, dióxido de carbono, etano	12

Fuente: Goldstein⁽⁹⁾

Figura 4 - Correlación entre rendimiento en carbón y % de lignina de la madera.



comportamiento del contenido de carbono fijo como consecuencia, es inverso, o sea, cuando mayor es la temperatura mayor será el contenido de carbono fijo, conforme puede ser visto en la tabla VII .

Estas variaciones, rendimiento en carbón y contenido del carbono fijo, ocurren en sentidos opuestos, esto es, para obtener carbón con alto contenido de carbono fijo se tiene que disminuir el rendimiento gravimétrico del proceso. El rendimiento en carbono fijo, como consecuencia de estos comportamientos, permanece constante, como puede ser visto en la tabla VII .

Este comportamiento es explicado en función de la temperatura, dos factores (rendimiento en carbón y contenido del carbono fijo) variando en sentidos opuestos, pero en proporción tal que el rendimiento en carbono fijo permanece constante. Esto ocurre si fuese mantenida la misma alza de calentamiento. Será abordado más adelante, cómo el alza de calentamiento puede influenciar en el rendimiento en carbono fijo. Si no hubiese perjuicio de otros factores la producción de carbón con elevado contenido de carbono parece ser siempre deseable. No obstante, para obtener gran contenido de carbono hay necesidad de introducir en el proceso grandes cantidades, siempre crecientes, de energía. La ganancia obtenida con el aumento del contenido de carbono es relativamente grande cuando se trabaja a temperatura más bajas. Cuando la temperatura se eleva mucho, el aumento revelado en el contenido de carbono no es mucho mayor.

En la tabla VIII son presentados algunos datos mostrando la variación del contenido de carbono del carbón con la temperatura de carbonización. De acuerdo con estos datos, la temperatura de 500°C es suficiente para producir carbón vegetal con contenido de 89,6% de carbono. La elevación hasta 1000°C aumenta el contenido de carbono hasta el 96,6%. Por tanto, la elevación de la temperatura a 500°C resulta en un pequeño aumento. Es por tanto, cuestionable e interesante sobre el punto de vista económico, producir carbón con alto contenido de carbono.

El gas no condensado es otro importante producto de destilación de la madera. Estos gases, después de pasar por un proceso de limpieza y purificación, son utilizados como fuente de energía en los modernos procesos de carbonización.

La variación de la composición de este gas en función de la temperatura de carbonización, es mostrada en la tabla IX . Estos datos se refieren al gas obtenido en la destilación de la madera.

Nuevamente es mostrado que la formación de los gases aumenta con el aumento de temperatura.

Los resultados muestran que la composición química de los gases depende sensiblemente de la temperatura de carbonización. Con el aumento de temperatura hay un enriquecimiento del gas, pues se observa un aumento de los gases combustibles y disminución del contenido de CO₂. Inicialmente, los gases son oxigenados, representados por el CO y CO₂. A medida que la temperatura aumenta hay una variación en la naturaleza de los gases: se inicia la formación de los gases hidrogenados, representados principalmente por CH₄ y C₂H₆. Es de esperar un aumento en el poder calorífico de los gases, a medida en que se aumenta la temperatura.

La composición de los gases a la salida del horno de albañilería

también depende sensiblemente de su temperatura interna. Hasta 280°C observa Juon, citado en Klar⁴, se desprenden gases oxigenados que cederán sus lugares a los gases hidrogenados, a medida que la temperatura del proceso aumenta. El desprendimiento de hidrocarburo continua aumentando hasta que la temperatura sea de 500°C.

Si el proceso de carbonización no fuese interrumpido, la temperatura interna del horno podrá elevarse encima de los 500°C y como consecuencia, el gas hidrógeno se volverá predominante.

El conocimiento de la evolución de la composición de los gases durante el proceso de carbonización asume gran importancia, ya que puede servir de artificio para mejorar la calidad y cantidad del carbón producido. Una buena cerrada del horno en determinada fase del proceso, puede influir en la composición del carbón.

Si la operación de carbonización fuese interrumpida a una temperatura un poco inferior a 400°C, procediéndose a una completa vedación del horno (lo que puede ser obtenido con el uso de una lechada bien aplicada), habrá una nueva formación de hidrocarbonatos, en tanto los gases oxigenados y el hidrógeno tenderán a desaparecer lentamente. Este fenómeno ocurre durante el enfriamiento del carbón en el interior del horno. Cuando se cierra el horno en esa región de temperatura, tiene una tendencia a aumentar la presión interna y la atmósfera gaseosa que envuelve al carbón presenta en esta fase, un contenido de hidrocarburos del orden del 80 al 90%. Con el transcurrir del tiempo, entre tanto, el carbón absorberá gran parte de los hidrocarburos dando origen al carbono sólido, pudiendo aumentar el contenido de carbono del carbón vegetal entre el 5 y 6%. Este comportamiento fue comprobado en las experiencias realizadas por Juon, el cual demostró que se puede aumentar el contenido de carbono del carbón sin elevar la temperatura de carbonización, a través del procedimiento de cerrar el horno a una temperatura menor a los 400°C, de manera a retener los hidrocarburos presentes en el interior del horno y condensarlos bajo la forma de carbono sólido, esto es, fijándolos en el carbón.

La fracción más abundante resultante de la destilación de la madera es el líquido condensado. En la tabla X es mostrada la composición química de este líquido en relación a sus principales constituyentes.

De manera general, aunque se observe alguna variación en la composición del líquido condensado, se puede considerar, a grosso modo, que la composición del líquido no varía ostensiblemente con la edad de la madera y con la temperatura de carbonización. El ácido acético es el componente más abundante sin considerar el agua.

Se verifica, aún, que una cantidad apreciable de alquitrán permanece soluble en el líquido condensado. Con relación a la influencia de la temperatura de carbonización en la recuperación del alquitrán insoluble, la tabla XI presenta los resultados obtenidos en la carbonización del eucalipto "Grandis".

Puede observarse que la formación del alquitrán insoluble se inicia en el rango de 150 a 200°C, pasando por un máximo en el rango de temperatura comprendida entre los 200 y 340°C. En esta faja son generados prácticamente el 90% del alquitrán producido hasta los 400°C. Cabe resaltar que estos resultados se refieren a la carbonización elevada a un índice de calentamiento del 0,5°C/min ya que, como será visto en el próximo ítem, el índice de calentamiento influye sensiblemente en el rendimiento en alquitrán.

Figura 5 - Rendimiento en alquitrán (% acumulado) en función de la temperatura de carbonización.

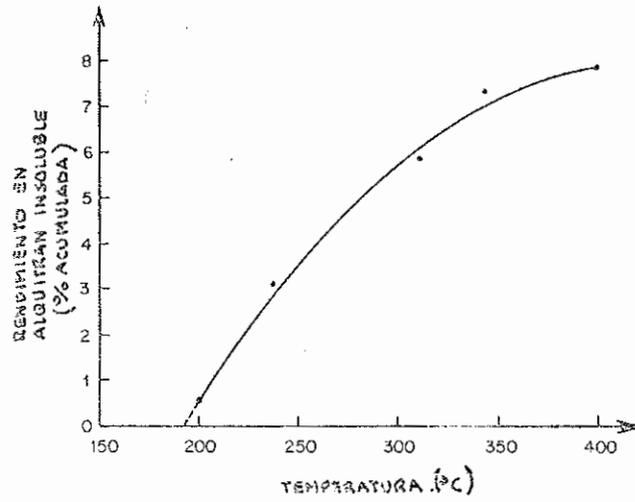


Figura 6 - Rendimiento del alquitrán por rango de temperatura.

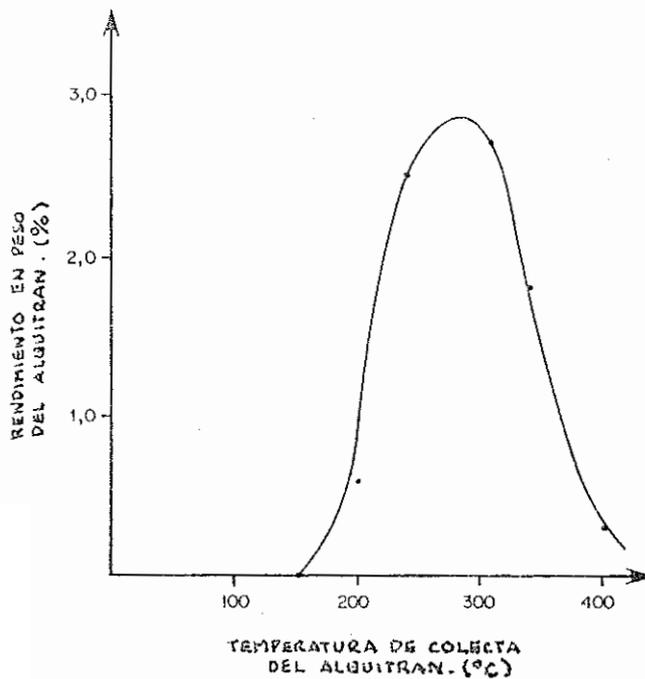


Tabla XII - Rendimiento en carbón, alquitrán y carbono fijo obtenidos en las carbonizaciones de los eucalyptus grandis y paniculata, a 430°C, en diferentes valores de calentamiento.

Hornada Nº	Valor de calentamiento	Análisis química inmediata (base seca)			Rendimiento en relación a la madera seca %		
		Carbono fijo	Mat. volátiles	Cenizas	Carbón	Alquitrán	Carbono fijo
* 1	2,3°C/min	79,15	19,94	0,91	34,1	9,6	26,3
* 2	1,0°C/min	78,45	20,62	0,93	35,0	7,6	27,2
* 3	1,0°C/min	78,65	20,33	1,02	34,5	8,0	27,1
* 4	6,0°C/h	78,70	20,30	1,00	40,8	1,9	31,8
* 5	2,3°C/h	76,63	22,04	1,33	40,5	1,3	30,2
** 6	1,0°C/min	80,94	17,56	1,50	37,0	8,4	28,9
** 7	0,5°C/min	76,54	21,47	1,99	38,1	6,7	28,7
** 8	6,0°C/h	79,40	19,70	0,90	36,9	2,3	29,3
** 9	6,0°C/h	79,00	19,50	1,5	36,9	2,4	29,9
**10	2,3°C/h	76,00	21,80	2,20	43,6	2,2	33,0

(*) Eucalypto Grandis.
 (**) Eucalypto Paniculata

Fuente: CETEC (14)

Tabla XIII - Carbonización de la madera "Birchwood" a 400°C en diferentes valores de calentamiento

Valor de calentamiento*	133,3	50,0	25,0	1,19
Rendimiento**				
Carbón	25,51	30,85	33,18	39,44
Alquitrán	18,00	16,94	10,10	1,80

* °C/h

** En relación al peso de la madera seca.

Fuente: Wenzl, H.F.J. (10)

Tabla XIV - Rendimiento en carbón y alquitrán en carbonización bajo diferentes condiciones de presión.

Condición experimental / Producto, %	Alto vacío 80°C/h	Bajo vacío (5 mm Hg)	Presión atmosférica 1,19°C/h
Carbón	19,38	19,54	39,44
Alquitrán	43,66	37,18	1,8

Fuente: Wenzl, H.F.J. (10)

Tabla XV - Rendimiento en carbon.
Carbonización realizada bajo presión mayor que la atmosférica.

Temperatura de Carbonización (°C)	Rendimiento en carbón, base seca (%)	
	Carbonización sin presión	Carbonización bajo presión, en recipiente herméticamente sellado.
160	98,0	97,4
180	88,59	93,0
200	77,10	87,7
220	67,50	86,4
240	50,79	83,0
260	40,23	82,5
280	36,16	83,8
320	31,77	78,7
340	29,66	79,1

Fuente: Violette (15)

12. BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. I. Densidade e teor da lignina da madeira de eucalipto. IPEP, Piracicaba, (14): 9-20, Jul. 1977
13. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS Otimização do processo de carbonização da madeira e do coco babaçu em fornos de alvenaria. 1º relatório parcial. Belo Horizonte, 1981
14. . Desenvolvimento de fornos de alvenaria não convencionais. Relatório de acompanhamento nº 2. Belo Horizonte, 1981
15. VIOLETTE, . Ann. de Chim. et de Phys. s.3. 32: 322, 1951. (Não foi consultado diretamente)

PROPIEDADES DEL CARBON VEGETAL

Joffre Batista de Oliveira, MSc*

Paulo Aguinélio Gomes, MSc*

Marcelo Guimarães Mendes, MSc*

1. Introducción
2. Composición química
3. Reactividad
4. Densidad y porosidad
5. Friabilidad (Resistencia a la abrasión y a la caída)
6. Resistencia a la compresión
7. Absorción de humedad
8. Poder calorífico
9. Bibliografía.

* Investigador de la Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC.

1. INTRODUCCION

El carbón vegetal constituye una materia prima de gran importancia en la siderurgia Brasileña, observando que la producción Brasileña de hierro fundido con carbón vegetal, en 1976, fue 4 millones de toneladas en que Minas Gerais participó con el 85% de esta producción. Esto corresponde a cerca del 50% de la producción nacional de hierro fundido y se planea, para 1985, producir alrededor de 7 millones de toneladas, usando este combustible.

Toda la producción Brasileña de carbón vegetal es obtenida a través de hornos de albañilería, llamados de superficie. En estos hornos, parte de la madera es quemada durante la carbonización y se vuelve muy difícil debido a sus características, al control del proceso, dando como consecuencia, un producto de propiedades bastante variables.

Con la evolución de la práctica operatoria de resolución, se necesita que el control de la materia prima sea más depurado y, como consecuencia se obtiene la optimización del uso del reductor, aumento de la producción y de la calidad del producto obtenido.

Conociendo como varían las principales propiedades del carbón y su influencia en los procesos de reducción, podemos saber cuál será la mejor tecnología de fabricación del carbón vegetal, teniendo en cuenta, lógicamente, los aspectos económicos desde la producción del carbón hasta la obtención del hierro fundido.

Las propiedades más representativas del carbón, y que tienen acentuado efecto en el comportamiento del alto horno, son:

- composición química,
- densidad,
- reactividad y
- resistencia mecánica.

De un modo general son muy pocas, y algunas veces no determinantes como en el caso del carbón vegetal, por eso se hacen estudios que correlacionen estas propiedades con la performance del horno.

Cuál es el efecto de las materias volátiles, de la reactividad, de la densidad, en el comportamiento del horno? Como se puede actuar económicamente en estas propiedades, de modo a producir un reductor que resulte en un máximo de aprovechamiento para un determinado proceso?

muy poco se conoce de las propiedades del carbón vegetal. Es necesario, entonces, al mismo tiempo que se intente ecuacionar

2. COMPOSICION QUIMICA

El carbón vegetal puede ser considerado como constituido, en términos de Análisis Químico de tres partes:

carbón fijo,
materias volátiles y
cenizas.

El efecto de estas tres componentes en el comportamiento del alto horno es, todavía, un problema bastante complicado y solamente casos aislados pueden ser considerados.

Según Gomes y Matos el efecto de la cantidad de carbón presente en un carbón es reflejado, principalmente, en la utilización del horno por unidad de volumen. Para el mismo volumen, mayor es la utilización del mismo a la medida que el carbon fijo aumenta. Esto, en otras palabras, significa un aumento en el tiempo de residencia y, consecuentemente, una mayor producción por unidad de volumen. Esta afirmación conviene enfatizar aquí, es válida para las mismas condiciones operacionales. No considerando el problema de fenómenos acoplados (reducción de mineral de fierro y reacción C-CO₂) el aumento del contenido del carbón fijo presenta ventajas del punto de vista de utilización del horno y su control. De esta manera el control del carbón fijo durante el proceso de carbonización parece, a la primera vista, importante y debería nerecer mayor atención.

En cuanto al contenido de cenizas, uno de los aspectos más importantes está relacionado con su análisis. En el caso del carbón vegetal, donde el contenido de cenizas es siempre bajo, su efecto sobre la composición final de la escoria y el volumen de la misma no es tan importante cuanto su efecto estalizador en la reacción C-CO₂. En cuanto a las materias volátiles, según los mismos investigadores "el mayor efecto de su eliminación, en el alto horno o fuera de el, se encuentra en la modificación estructural del carbón. Los cambios de las características físicas del carbón (porosidad, diámetro medio de los poros, área específica total etc.) por la eliminación de los volátiles puede alterar su comportamiento en el alto horno. Un ejemplo bastante simple e ideal, puede ser usado para explicar este punto. Supongamos que dos muestras de carbón, teniendo las mismas velocidades químicas de reacción con el CO₂, existe una diferencia en porosidad.

Para aquella de mayor porosidad suponiedo que la resistencia a la difusión del CO₂ es despreciable, toda área interna disponible para la reacción estará sujeta a la misma presión parcial del CO₂,

Tabla I - Composición elemental del carbón vegetal y rendimiento con relación a la madera seca, en función de la temperatura de carbonización BERGSTROM e WESSLEN (4).

Temperatura de Carbonización (%)	Composición elemental (%)			Rendimiento (%) $\frac{\text{peso carbón}}{\text{peso madera seca}}$
	C	H	O	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	82,7	3,8	13,5	37,8
500	89,2	3,1	6,7	31,0
600	92,2	2,6	5,2	29,1
700	92,8	2,4	4,8	27,8
800	95,7	1,0	3,3	26,7
900	96,1	0,7	3,2	26,6
1000	96,6	0,5	2,9	26,8
1100	96,4	0,4	3,2	26,1

Tabla II - Variación de la composición del carbón y rendimiento en función de la temperatura de carbonización.

Temperatura de Carbonización (%)	Análisis químico inmediato		Rendimiento * en carbón (%) (base seca)
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

* Obtenido por: $\frac{\text{Peso de la madera seca en estufa, a peso constante}}{\text{peso del carbón obtenido}}$.

Figura 3 - Variación de la temperatura interna en horno de albañilería de 5 m de diámetro (hornada 5) .

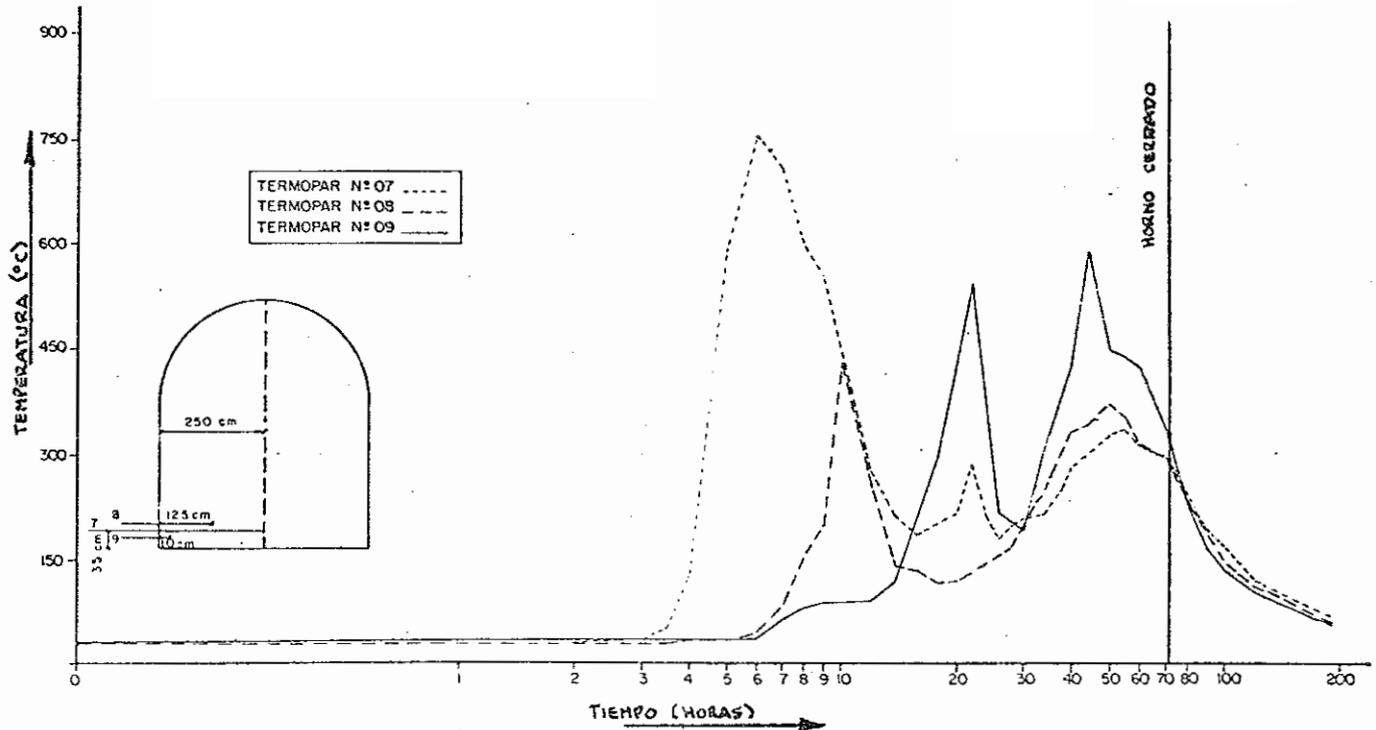
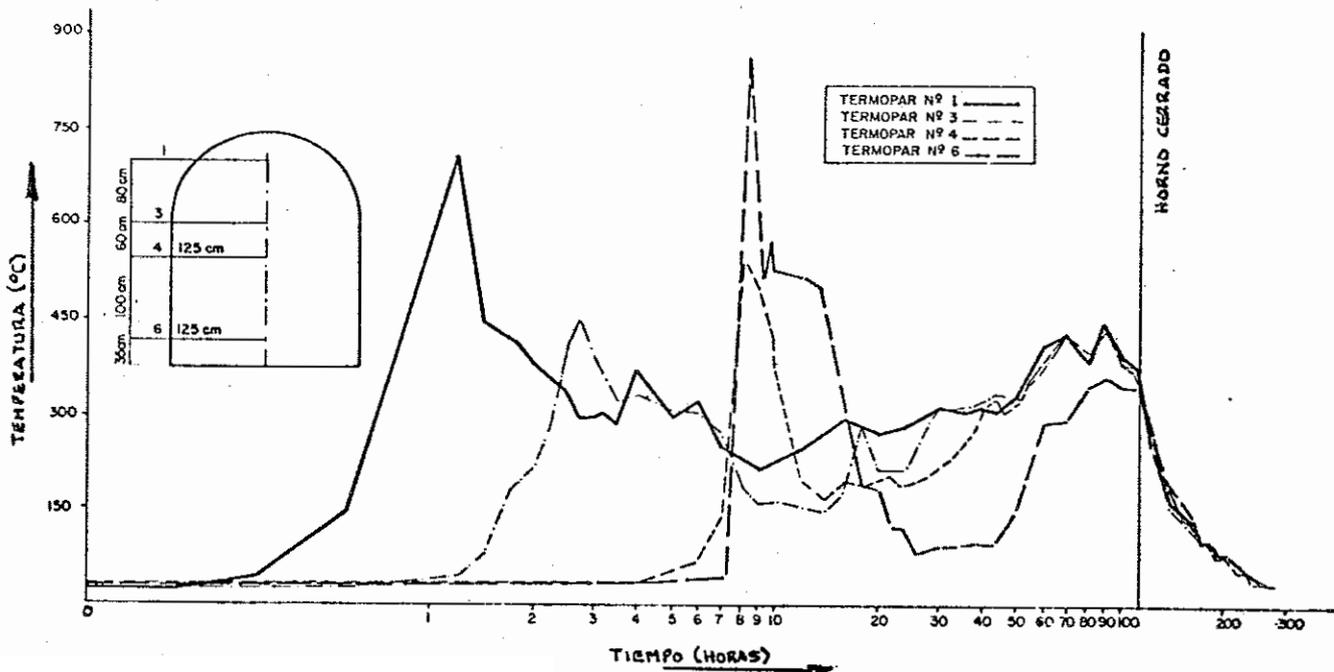


Figura 4 - Variación de la temperatura interna en horno de albañilería de 5 m de diámetro (hornada 5).



3. REACTIVIDAD

Una de las más importantes y contradictorias propiedades del carbón vegetal es su reactividad. La reactividad al CO_2 es una medida relativa de la capacidad de un carbón en reaccionar con el dióxido de carbono resultando monóxido de carbono. En otras palabras, es la capacidad que el carbón tiene de regenerar el poder reductor del gas. Entretanto, según Matos (9) " contrario a las afirmativas de la literatura, los resultados obtenidos usando las pruebas de reactividad no pueden ser extrapolados para el alto horno, a menos que un análisis más completo sea hecho. En la discusión sobre el carbono fijo fue colocado que el alto horno es un proceso, aparte de otras consideraciones, acoplado. Esto significa que su comportamiento es función de los fenómenos que ocurren en la reacción $\text{C}-\text{CO}_2$, así como aquellos que ocurren en la reducción del mineral de hierro. Un ejemplo puede ser usado para explicar el problema. Supongamos que un determinado carbón tenga una alta reactividad comparado con otro. En el alto horno se espera que el carbón de más alta reactividad reaccione con el CO_2 en temperaturas más bajas. Si para estas condiciones la velocidad de reducción del mineral de hierro fuese baja, el horno funcionará, en su parte superior, como un gasógeno. En este caso, un aumento en el consumo específico del carbón es esperado. Para sanar un problema de esta naturaleza existen dos posibilidades: aumentar o disminuir la reactividad del carbón. La disminución de la reactividad del carbón vegetal provoca un aumento de la temperatura de la zona de reserva térmica, a través del aumento de la temperatura de inicio de la reacción $\text{C}-\text{CO}_2$, favoreciendo así la reducción del mineral de hierro de baja reductibilidad. De esta manera, para el alto horno, existe un compromiso entre la reactividad del carbón y la reductibilidad del mineral.

Pruebas de reactividad del CO_2 , realizadas en el CETEC, utilizándose carbón vegetal en la foja granulométrica de 3,4 a 5,6mm mostraron que para un flujo de 2,4 l/min de CO_2 puro, cuanto más alta la temperatura de la carbonización mayor era la reactividad, expresada a través del gráfico % CO_2 en el gas de salida versus temperatura. Los resultados son mostrados en la tabla III, donde se ve el porcentaje de CO_2 en el gas de salida a 830°C para las temperaturas de carbonización de 300, 500 e 700°C . Como se puede notar, la reactividad acompaña el aumento en carbono fijo del carbón.

Los parámetros más importantes que influyen en la densidad y porosidad del carbón son:

temperatura de carbonización, densidad de la madera que le dió origen y la velocidad de carbonización.

• Influencia de la Velocidad y Temperatura final de carbonización.

Como fue mencionado anteriormente, ocurre entre 300 y 500°C una pérdida de masa debido a la liberación de volátiles si, entretanto, ocurre una reducción significativa en las dimensiones del carbón.

En función de eso, se puede esperar que un carbón producido a 300°C sea más denso que un carbón producido a 500°C. Por otro lado, en la faja de temperatura de 500 a 700°C apesar de ocurrir una pérdida de masa, se verifica una construcción bastante significativa en las dimensiones del carbón.

Esos dos fenómenos actúan en sentidos opuestos sobre la densidad relativa aparente del carbón vegetal, mientras tanto, los resultados presentados en la tabla IV sugieren que el efecto de la contracción de volumen es mayor que el efecto de pérdida de masa, una vez que la densidad relativa aparente, para el carbón producido a 700°C, es mayor que la de la presentada por el carbón producido a 500°C. Resultados semejantes fueron observados por Blankenhorn y sus colaboradores en la carbonización de "Blackderry".

Datos referentes a la carbonización de eucalipto en retorta eléctrica, en escala de laboratorio, muestran que densidad relativa aparente es sensiblemente influenciada por la velocidad de la carbonización.

Se observa, a través de estos resultados, que para carbonización rápida (= 2 horas) se obtiene un carbón menos denso del que en la carbonización lenta (71 horas = 3 días).

Estos resultados asociados a aquellos obtenidos en pruebas de tamboramiento, sugieren que el carbón producido en carbonizaciones rápidas no presentan buenas características físicas, resistencia y densidad, para utilización en procesos siderúrgicos, comparándose con el carbón producido en carbonización lenta.

Con relación a la densidad relativa verdadera se observa un aumento continuo, en función de la temperatura de carbonización, en la foja de temperatura estudiada. Este aumento es más acentuado en la foja de 500 a 700°C, comportamiento este explicado en función de un posible rearrreglo de los átomos del carbón, resultando en una estructura más ordenada.

Con relación a la porosidad del carbón, se observa en la tabla IV una variación más acentuada cuando se carboniza madera en las temperaturas de 300 y 500°C que cuando se carboniza en temperaturas de 500 y 700°C.

Esta mayor variación en la foja de 300 a 500°C es explicada en función de la mayor extracción de volátiles, sin que ocurra una contracción significativa en las dimensiones del carbón vegetal.

En la foja de 500 a 700°C, el efecto de contracción del carbón puede ser más acentuado del que el efecto de la pérdida de la masa

(volátiles) concurre para un mayor aumento en la densidad relativa verdadera que en la necesidad relativa aparente.

• Densidad a granel

Debido a la facilidad de determinación de la densidad a granel (Bulk Density) es la más utilizada por los productores y consumidores de carbón vegetal. Mientras tanto, varios son los factores que influyen en la determinación del valor de la densidad a granel. Entre estos deben ser resaltados la distribución granulométrica del carbón, humedad del carbón y dimensionen del recipiente utilizado en la determinación del volumen.

Además de estos factores inherentes al método de medición, la densidad a granel varía en función de la madera que le dió origen (tabla VI) y en función de los variables del proceso de carbonización, tales como: temperatura final de carbonización y tasa de calentamiento.

Así se hace necesario el cernimiento de las materias-primas antes de su carguío en esos equipos de reducción.

Puede concluirse que aunque no se utilicen en el horno los finos, se debe considerar que dentro del alto horno, donde el carbón vegetal está sujeto al desgaste y sometido a una carga, el grado de friabilidad de esa materia-prima se vuelve de gran importancia para el buen desempeño de la marcha de ese equipo.

5.1. PRUEBA DE TAMBORAMIENTO

El CETEC desarrolló una metodología (3) para pruebas de tamboramiento del carbón vegetal, que permite establecer comparación entre carbones producidos a partir de diferentes especies y en diferentes condiciones de carbonización.

Esa prueba es desarrollada con el objetivo de simular el monoseo del carbón desde la producción hasta su utilización, mediéndose la friabilidad por el porcentaje de finos abajo de 1/2".

Para pequeñas cantidades de carbón se desarrolló una prueba utilizándose un equipo de menores dimensiones, con lo finalidad de obtener datos comparativos entre diferentes carbones. Se puede establecer, por consiguiente, una correlación entre los análisis obtenidos en los dos diferentes pruebas.

A partir de 1980 a ABNT propuso un proyecto de norma (MB 1375-1980). Para realización de la prueba del tamboramiento del carbón vegetal, fueron estudiados algunos parámetros que influyen en la friabilidad del carbón vegetal, los cuales serán analizados.

5.1.1 . Factores que Influyen en la Friabilidad del Carbón Vegetal

● Humedad de la madera

Experiencias realizadas en CETEC, con eucalipto "grandis", con diferentes contenidos de humedad, carbonizados en las mismas condiciones, mostraron que cuanto mayor el contenido de humedad de la madera, mayor es la cantidad de finos generados en las pruebas de tamboramiento, conforme se muestra en la tabla VII.

Este comportamiento sugiere que un mayor contenido de humedad de la leña puede ocasionar mayor formación de rajaduras internas en el carbón vegetal. Esas rajaduras, en mayor cantidad harán con que ocurra mayor generación de finos durante la prueba de tamboramiento

Estos resultados vienen a mostrarnos que la carbonización de madera con altos contenidos de humedad no sólo perjudican en el rendimiento del proceso, sino que influyen, también, en la friabilidad del carbón vegetal.

● Influencia de la temperatura de carbonización.

Los diferentes procesos de carbonización posibilitan la obtención de carbón en diferentes temperaturas, implicando en cambios en sus propiedades físicas y químicas.

La friabilidad del carbón vegetal es una de las propiedades que varía en función de la temperatura final de carbonización.

Tabla VII - Porcentaje de fixos generados en tests de tamboramiento, en escala de laboratorio, del carbón vegetal, en función del porcentaje de humedad de la madera carbonizada.

Porcentaje de humedad de la madera (%)	% de finos menores que 13mm generados en el tamboramiento
20	11,2
20-30	13,5
30	15,5

Tabla VIII - Resultados médios del test de tamboramiento para el carbón producido a partir de Eucalipto "grandis" con la misma edad y porcentaje de humedad.

Temperatura de carbonización (°C)	% de finos menores que 13mm generados después del test.
300	13,2
500	14,6
700	12,9

Figura 5 - Ilustración de rajadura del duramen de la madera en función del diámetro
Diámetros: 3 e 7 cm.

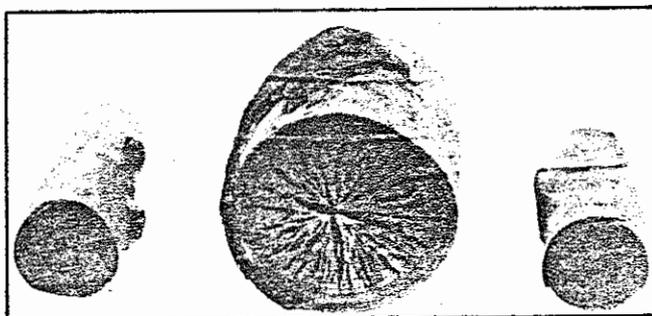


Tabla X - Influência del largo de las piezas de madera en la formación de finos (13mm). Diámetro de las piezas comprendido entre 1 a 6cm.

Caja Pequeña 470x470x500mm		Caja Media 470x470x1000mm		Caja Grande 470x470x1500mm	
Largo (mm)	Finos (%)	Largo (mm)	Finos (%)	Largo (mm)	Finos (%)
220 a 240	8,48	480 a 500	14,24	1000 a 1600	17,78

Tabla XI - Resultado de los tests de tamboramiento para carbón de eucalipto "Grandis" producido a 430°C en valores de carbonización de 0,1°C/min. y 3,4°C/min.

Valor de Carbonización (°C/min.)	Valor de Carbono fijo (base seca)	% de finos abajo 1/2" generado por tamboramiento
0,1	78,02	11%
3,4	78,51	18%

6. RESISTENCIA A LA COMPRESION

El ensayo de compresión es utilizado para medir la resistencia longitudinal y transversal del carbon vegetal, con la finalidad de preverse su comportamiento mecánico cuando es sometido a una carga.

Un carbón que posee una mayor resistencia a la compresión deberá presentar también una menor degradación durante su utilización en un reactor.

Según Assis, el factor de mayor importancia en la limitación de la capacidad de altos hornos al carbón vegetal, es el propio reductor. Volviéndose imperioso investigar el proceso de fabricación del carbón vegetal, principalmente en el sentido de mejorar su resistencia física y composición química.

También, según ese autor, en general, para un carbón vegetal con baja resistencia mecánica, humedad elevada y alto contenido de volátiles, el mismo sufre una degradación dentro del alto horno alterando su distribución granulométrica, reduciendo así, la permeabilidad de la carga.

6.1. PRUEBA DE COMPRESIÓN

Hasta el presente no existe una metodología normalizada para realización de prueba de compresión del carbón vegetal.

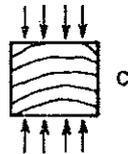
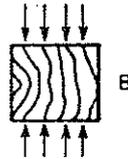
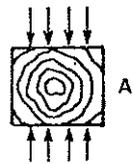
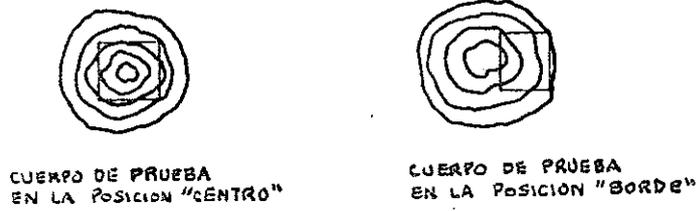
Dentro de los trabajos realizados por CETEC en el área del carbón vegetal, fue desorillada una metodología para prueba de compresión, con la finalidad de comparar carbonos producidos a partir de diferentes especies vegetales, carbonizados en condiciones distintas.

Durante el desarrollo de esta metodología se puede observar que factores tales como: dimensiones del cuerpo de prueba, posición donde el mismo era retirado en la pieza carbonizada y rajaduras internas, traen una dispersión en los valores obtenidos para resistencia del carbón vegetal. A continuación, se presentará la influencia de algunas de estos factores en el valor de la resistencia a la compresión del carbón vegetal.

Influencia de la dimensión del cuerpo de prueba y posición de retirada del mismo en la pieza carbonizada.

Como se sabe, una pieza de madera es formada por anillos de crecimiento, que se mantienen cuando es transformada en carbón.

Figura 6 - Esquema de la aplicación de la carga, en relación a la posición del cuerpo de prueba considerando el centro de la pieza de carbón.



Ese comportamiento sugiere que debe ocurrir una caída en la resistencia a la compresión en ese rango de temperatura, conforme lo observado en la práctica.

Con el aumento de la temperatura de carbonización, a partir de 500°C, se observa un aumento en la resistencia al aplastamiento del carbón vegetal, Figura 7. Entretanto, a partir de esa temperatura, ocurre una contracción bastante significativa en las dimensiones del carbón. Esta contracción puede estar relacionada con un posible rearrreglo estructural del carbono residual.

Así, el aumento de la resistencia del carbón, a partir de 500°C, puede estar relacionado con los siguientes factores:

- . posible influencia de la disminución radial aumentando el número de fibras por unidad de superficie;
- . posible influencia del rearrreglo estructural del carbono, produciendo una estructura de mayor resistencia.

Ese comportamiento de la tensión de ruptura del carbón vegetal, pasando por un valor mínimo de alrededor de 500°C, coincide con los resultados obtenidos por Moore y sus colaboradores, donde el módulo de elasticidad dinámica decrece para una temperatura de carbonización entre 200 y 500°C, aumentando a partir de esa temperatura hasta 700°C, que fue la temperatura máxima considerada en su trabajo. Estos resultados son presentados en la tabla XV y en el gráfico de la Figura 8.

El comportamiento semejante de esas propiedades físicas (resistencia a la compresión y módulo de elasticidad), bien como los resultados de tamboramiento, en relación a la temperatura de carbonización, viene a reforzar la hipótesis de que, carbón producido en temperaturas próximas a 500°C debe ser más susceptible a la generación de finos cuando es sometido a esfuerzos, durante el monoseo y utilización.

Así, considerando sólo la resistencia mecánica, este comportamiento del carbón vegetal, en relación a la temperatura de carbonización, viene a sugerir que el mismo sea producido en temperaturas próximas a 300°C o sobre 700°C. Entretanto, otros factores tales como: composición química, reactividad del carbón y rendimiento térmico del proceso de carbonización, deben ser llevados en cuenta en la elección, de la temperatura ideal de carbonización.

Tabla XV - Variación de lo modulo de elasticidad del carbón en función da temperatura de carbonización a 200°C. Datos obtenidos en el estudio de Moore e colaboradores (7)

Temperatura de Carbonización (%)	Modulo de Elasticidad E (din/cm ²) x (10 ⁻¹⁰)
200	19,6
300	5,3
400	2,4
500	1,3
600	4,0
700	9,0

Figura 8 - Variación de lo modulo de elasticidad del carbón en función de la temperatura de carbonización.

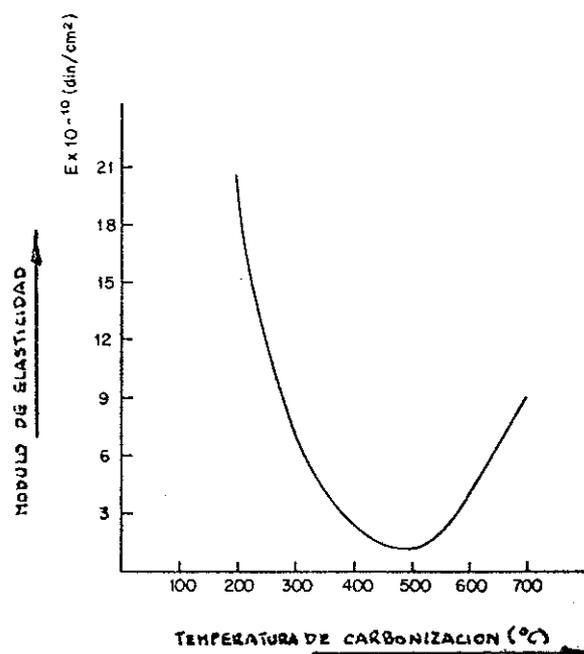


Figura 9 - Isotermas de absorción y pérdida de humedad del carbón vegetal producido a 400°C, a partir de la madera dura, "Yellow Poplar" (*Liriodendron tulipifera* L.)
Según BEALL y allis

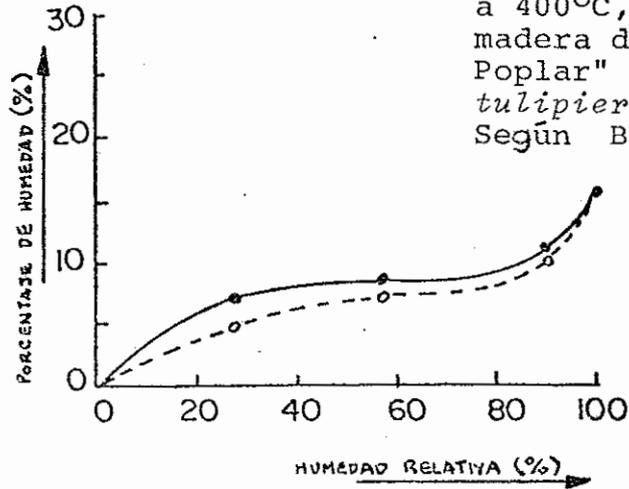


Tabla XVI - Porcentaje de finos abajo de 13mm, después del choque térmico.

Muestra	Porcentaje de finos de 13mm después del choque térmico.	Porcentaje de humedad de las muestras (%)
1A	1,20	40,5
2A	1,61	38,0
3A	1,18	33,0
4A	1,38	28,4
5A	0,93	20,2
6A	0,95	15,3
7A	0,85	10,4
8A	1,19	4,9

Figura 10 - Variación del porcentaje de finos penerados en test de tamboramiento, después del choque térmico del porcentaje de humedad.

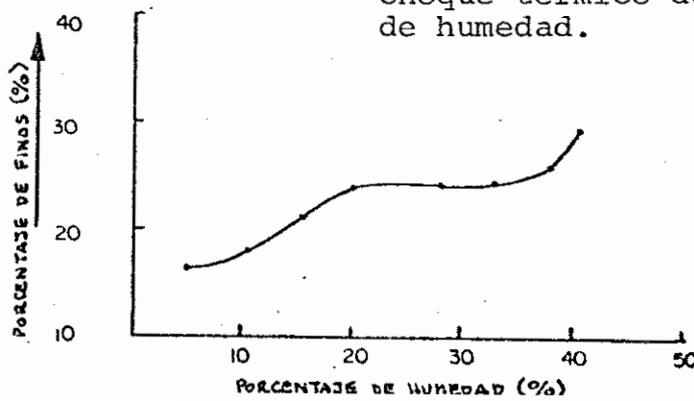


Tabla XVII - Resultado de los tests de tamboramiento del carbón vegetal.
rpm = 35,5 Vueltas = 250

Muestra	Porcentaje de humedad (%)	Peso antes del tamboramiento (g)	% de fino en cada malla granulométrica.				% de finos < 13mm	% retenido en 13mm
1A	40,5	241,8	4,9	6,1	9,6	8,7	29,3	70,7
2A	38,0	241,0	3,1	4,6	9,8	8,6	26,1	73,9
3A	33,0	245,0	3,2	2,8	10,6	7,9	24,5	75,5
4A	28,4	245,4	3,3	4,2	9,0	7,6	24,1	75,9
5A	20,2	246,0	2,3	3,0	8,8	9,8	23,9	76,1
6A	15,3	241,1	3,0	2,4	7,8	8,1	21,3	78,7
7A	10,4	245,0	5,4	1,6	4,8	5,9	17,7	82,3
8A	4,9	242,3	2,9	1,6	4,7	7,4	16,6	83,4

Tabla XVIII - Variación del peso del carbón vegetal.

	Tiempo (min.)	Peso (g)	AP*1	Perdida de Peso (%)
Secado	10	18,13	1,55	7,80
	15	17,39	2,47	12,43
	20	16,39	3,49	17,57
	25	15,52	4,34	21,85
	30	14,69	5,17	26,03
	35	14,04	5,82	29,30
	40	13,54	6,32	31,82
	45	13,18	6,68	33,63
	55	12,80	7,06	35,54
	65	12,75	7,11	35,80
Aumento de peso	75	12,76	7,10	35,75
	85	12,76	7,10	35,75
	145	12,79	7,07	35,59
	205	12,81	7,05	35,49
	255	12,83	7,03	35,39
	305	12,84	7,02	35,34
	355	12,85	7,01	35,29
	405	12,86	7,00	35,24
Reabsorción de humedad (lámpara apagada)	440	12,95	6,91	34,79
	450	13,01	6,85	34,49
	460	13,07	6,80	34,23
	470	13,10	6,77	34,08
	490	13,13	6,73	33,80
	510	13,17	6,69	33,68
	530	13,20	6,66	33,53
	1414	13,62	6,24	31,41

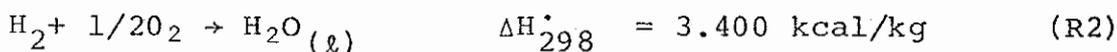
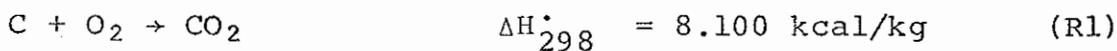
*Peso inicial = 19,862g

8. PODER CALORIFICO

Se define el poder calorífico de un combustible, con el número de calorías liberadas en la combustión completa de una unidad de masa del combustible, siendo expresado en Kcal/kg para combustibles sólidos y líquidos y en Kcal/m³ para combustibles gaseosos. Esta propiedad es de gran importancia, principalmente cuando se piensa en la utilización del carbon vegetal como fuente de energía, en substitución a los combustibles derivados del petróleo.

El poder calorífico puede ser determinado teóricamente, a través de la composición química elemental del carbón, o experimentalmente en una bomba calorimétrica.

En la determinación teórica del poder calorífico del carbón vegetal, se consideran las siguientes reacciones:



Cuando se calcula el poder calorífico se debe tomar en cuenta parte del hidrógeno que se encuentra íntimamente ligada con el oxígeno, formando agua. Considerando que todo el oxígeno está químicamente ligado al hidrógeno formando agua, deberá ser reducido 1/8 del peso del oxígeno.

De este modo se tiene, para las reacciones (R1) y (R2), las siguientes expresiones

$$(R1): \quad \frac{\% C}{100} \times 8.100 \text{ kcal/kg} \quad (1)$$

$$(R2): \quad 3.400 \left(\%H - \frac{\%O}{8} \right) \times \frac{1}{100} \text{ kcal/kg} \quad (2)$$

El poder calorífico superior del carbón será

$$\frac{\%C}{100} \times 8.100 + \frac{3.400}{100} \left(\%H - \frac{\%O}{8} \right) \text{ kcal/kg} \quad (3)$$

Tabla XIX - Valores de A en función de la relación V/V+C.

$\frac{V}{V+C}$	A
<0,05	150
0,05	145
0,10	130
0,15	117
0,20	109
0,25	103
0,30	96
0,35	89
0,40	80

Tabla XX - Poder calorífico del carbón vegetal en función de la temperatura de carbonización.

Temperatura Carbonización	300°C (cal/g)	500°C (cal/g)	700°C (cal/g)
1ª medida	7012	8109	7647
2ª medida	7122	8141	7693
3ª medida	7085	8101	7563
4ª medida	6980	8199	7720
5ª medida	7151	8185	7671
Media	7070	8147	7659
Desvio Padrón	72	44	60
Desvio Padrón (%)	1,02	0,54	0,78

Carbón producido a partir de eucalipto "Grandis".

Figura 13 - Variación del poder calorífico, en función del porcentaje de carbono fijo.

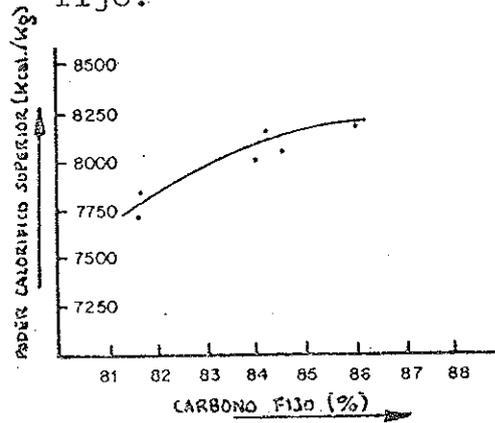


Figura 14 - Variación del poder calorífico, en función del porcentaje de materias volátiles.

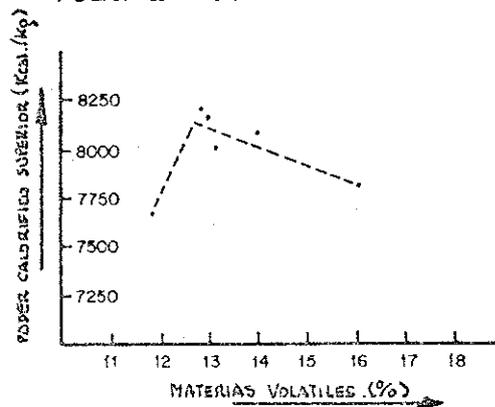


Figura 15 - Variación del poder calorífico, en función del porcentaje de cenizas.

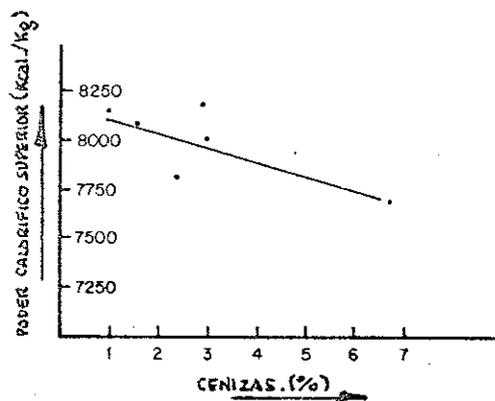
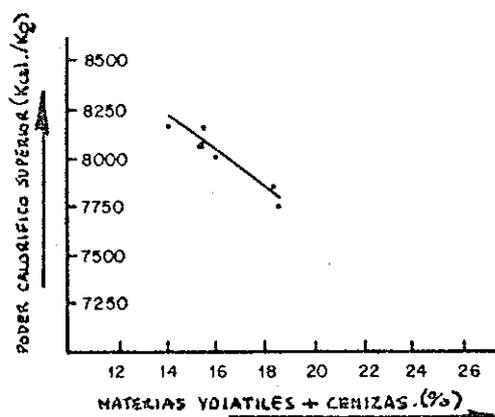


Figura 16 - Variación del poder calorífico, en función del porcentaje de cenizas + materias volátiles.



8. BIBLIOGRAFIA

1. OLIVEIRA, J.C. Análise econômica do carvão vegetal. In: SEMINÁRIO SOBRE O CARVÃO VEGETAL. Belo Horizonte, BDMG, 29-30 ago. 1977 (patrocínio do IBS, ABM e BDMG).
2. SILVEIRA, R.C. Notícias - Considerações sobre o emprego do carvão vegetal em altos-fornos de grande capacidade dimensionados para coque - O caso particular da CSN.
3. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria; 1a. Fase. Belo Horizonte, 1977.
4. TARKOW, H. Properties of charcoal. Belo Horizonte, FLORASA, 1978. (comunicação interna).
5. ASSIS, P.S. Análise das limitações da capacidade de altos-fornos a carvão vegetal. In: CARVÃO VEGETAL NA SIDERURGIA BRASILEIRA. IBS, 1977.
6. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Programa de racionalização e sustentação da produção siderúrgica a carvão vegetal, Projeto: Propriedades do carvão vegetal. Belo Horizonte, 1978.
7. MOORE, G.R.; BLANKENHORN, P.R.; BEALL, F.C.; KLINE, D.E. Some physical properties of birch carbonizes in a nitrogen atmosphere. Wood Science, 6 (3): 212-19, jan. 1974.
8. BLANKENHORN, P.R.; BARNES, D.P.; KLINE, D.E.; MURPHEY, W.K. Porosity and pore size distribution of black cherry carbonizes in inert atmosphere. Wood Science, 1: 25-99, jul. 1978.
9. MATOS, M. & GOMES, P.A. Comunicação Interna do Setor de Metalurgia do CETEC. Belo Horizonte, 1978.
10. PETROFF, G. & DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux; influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. Revue des Bois et Forêts des Tropiques, 177: 51-64, jan-fev. 1978.
11. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Otimização do processo de carbonização da madeira e do coco babaçu em fornos de alvenaria; Relatório Final. Belo Horizonte, 1981.

RECUPERACION DE ALQUITRAN EN HORNOS DE ALBANILERIA.

Cláudio Almeida Medeiros*

Maria Emília Antunes Rezende MSc.*

1. Introducción.
2. Productos de la madera.
3. Recuperación de alquitrán de los hornos de albañilería.
4. Características y aplicaciones del alquitrán vegetal.
5. Costos de producción de alquitrán.
6. Producción de alquitrán - perspectivas.

* Asistente de la Dirección de la Florestal Acesita S.A.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la existencia de dificultades en la balanza de pagos, la substitución del petróleo importado por fuentes alternativas nacionales, es una de las prioridades de Brasil. En este escenario, la leña y el carbón vegetal son muy importantes insumos energéticos, para aplicaciones industriales. El carbón vegetal tradicionalmente utilizado para la producción de fierro fundido ya encuentra hoy, un importante mercado, como substitute del aceite combustible, en las industrias de cemento en Brasil.

Los métodos tradicionales de producción de carbón vegetal, carbonización en hornos de albañilería, se caracterizan por la baja inversión inicial y por el uso intensivo de mano de obra y son, portanto, tecnologías apropiadas a la realidad socio-económica de un gran número de países de América Latina. Con todo, la no utilización de los residuos de la explotación forestal, (ganchos, puntas, etc) y la no recuperación de productos volátiles, hace de este método, cerca de 42% de la energía disponible de la madera en pie, sea aprovechada.

Buscando maneras de mejorar este rendimiento energético y agregar nuevas ideas a la actividad de carbonización, la Florestal Acesita S/A, desarrolló recuperadores de alquitrán vegetal, presente en el humo liberado en la carbonización de la madera.

Esta nueva tecnología, acoplada a los tradicionales hornos de albañilería, permiten la recuperación de 160 Kg de alquitrán por tonelada de carbón vegetal, producida en la carbonización del Eucalyptus SPP. Esto corresponde a elevar a cerca de 5% el rendimiento energético de la foresta para carbón, y aumentando la renda bruta de la actividad, en aproximadamente un 20%.

Este trabajo, al reunir informaciones respecto a la carbonización de la madera, recuperación de alquitrán, así como sus características físico-químicas y aplicaciones industriales, tiende a aumentar un conjunto de conocimientos básicos que, junto con un análisis de costo de producción de alquitrán, se cree que permitirán, al participante de este curso, avaluar la presente práctica, de desarrollo y perspectivas futuras de aplicación y perfeccionamiento de esta tecnología.

Debe considerarse el hecho de que los cálculos económicos aquí presentados, están basados en las condiciones brasileñas, y para avaluar mejor las posibilidades de implantación de esta tecnología en otros países, es necesario rehacer los cálculos, considerando sus respectivos datos económicos. Por éste, con seguridad, no impedirá la comprensión de la competencia y potencialidad de este antiguo, y actualmente, olvidado combustible.

La carbonización de Eucalyptus spp a 500°C en retortas eléctricas, abastecen, en media, los siguientes rendimientos, basados en el peso de madera anhidra

Carbón	33,0%
fase acuosa	35,5%
. ácido acético	5,0%
. metanol	2,0%
. alquitrán soluble (B)	5,0%
alquitrán insoluble (A)	6,5%
GNC	25,0%

Fuente: CETEC apud. Almeida & Rezende (2)

Los estudiosos de la carbonización acostumbran dividirla en cuatro etapas:

- . Abajo de 200°C, secado y pérdida de la parte de agua de constitución.
- . 200 a 280°C, reacciones endotérmicas llevan la liberación de ácido acético, metanol, agua, CO₂, etc.
- . 280 a 500°C, reacciones exotérmicas intensas, llevan la liberación de gases combustibles (CO, CH₄, etc.) y alquitranes.
- . Encima de 500°C, el carbón es en mayor parte carbono fijo y apenas pequeñas cantidades de volátiles (H₂) son liberadas.

Estas etapas pueden suceder de modo simultáneo en piezas de mayor dimensión y, ciertamente, caracterizando períodos y/o zonas en los hornos de carbonización.

Los hornos de albañilería, como los utilizados por la Floresta Acesita S/A, (figura 1), son sistemas con fuente interna de calor, o sea, parte de la leña es quemada en el interior del horno para proporcionarle energía para secado e introducción de la carbonización de la leña restante. Para esto, el aire es admitido por orificios dispuestos a lo largo de su superficie, creándose un frente de quema (temperaturas de 800-900°C), que precede al período de carbonización (temperaturas de 280-400°C), como se muestra en la figura 2.

La intensa generación de volátiles y su tendencia a acumularse en la copa del horno, hace que la carbonización se desplace de arriba para abajo. El operador del horno acompaña la evolución del proceso, generalmente por la mudanza de la coloración de los humos, y va limitando la entrada de aire por la veda de los orificios, a medida que el frente de quema los alcanza. Cuando este frente llega al fondo del horno, la admisión del aire sólo se da por los orificios que están a ras del piso y se establece una configuración de flujo de los gases, como lo muestra la figura 3-a.

Cuando son instalados los equipos de recuperación de alquitrán, son eliminadas las chimeneas y los orificios de la copa, esto modifica el flujo de gases, como lo muestra la figura 3-b. El frente de carbonización todavía se disloca en el mismo sentido, sólo que de forma más rápida, una vez que el tiraje forzado acelera los movimientos de los gases, mejorando los cambios térmicos en el interior del horno.

Figura 2 - Evolución de la temperatura interna en el horno sin cámara

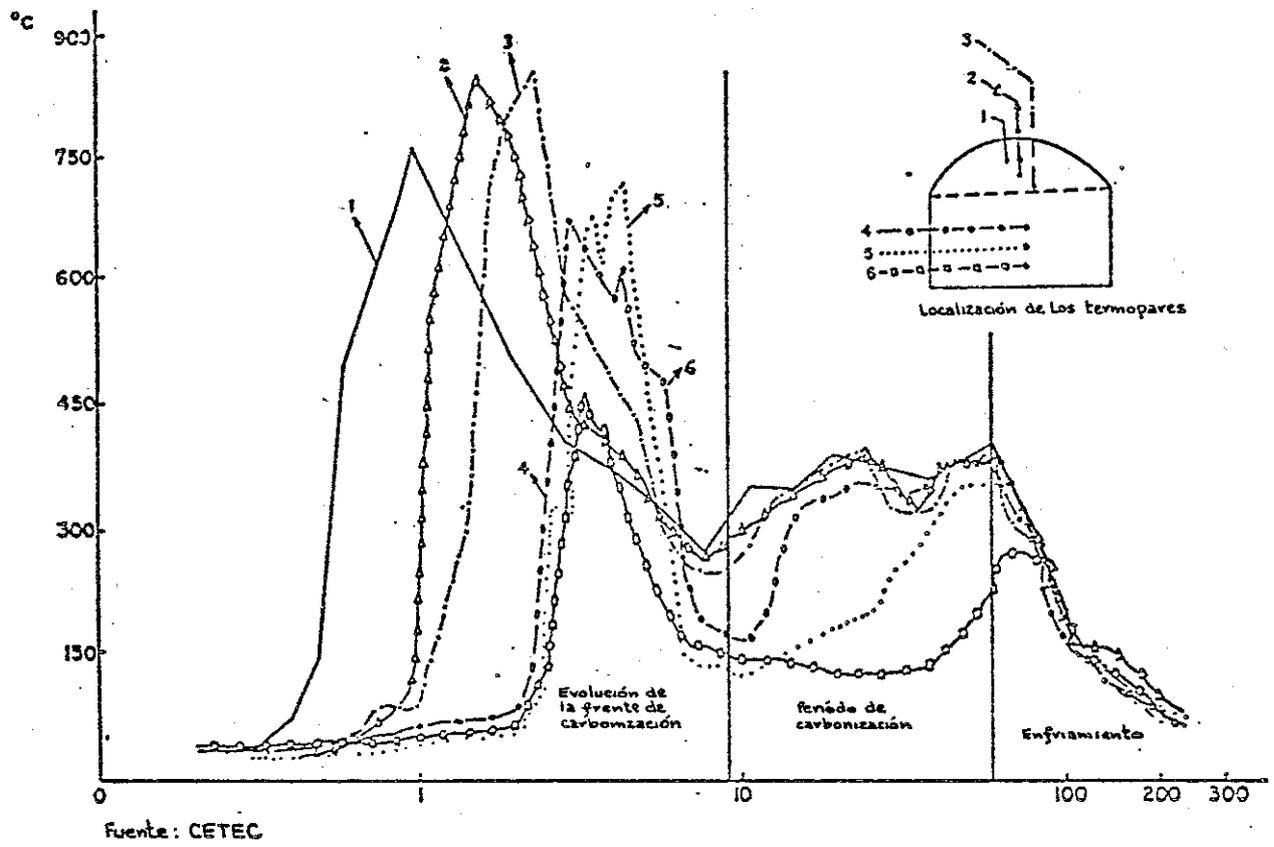
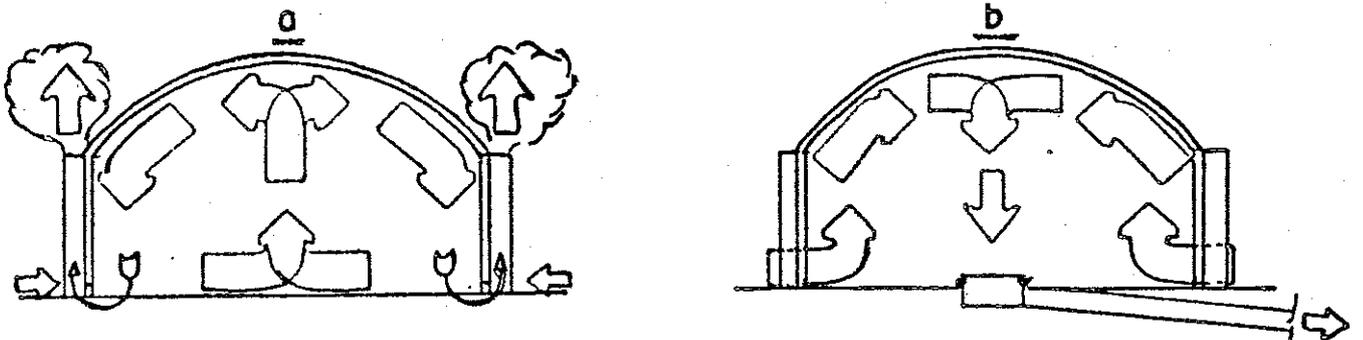


Figura 3



Poseyendo estos conocimientos básicos y visualizando la optimización de recuperación de alquitrán, la Florestal Acesita S/A desarrolló varios procesos de recuperación:

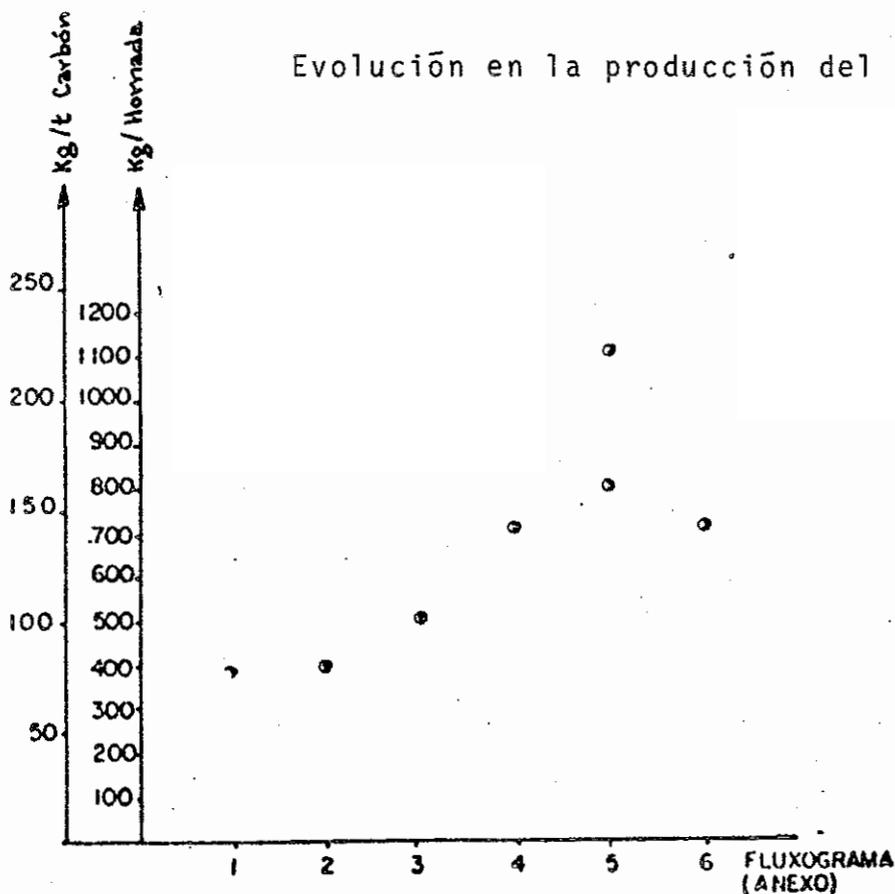
- 1- Recuperación por burbujeo;
- 2- Recuperación por ciclónaje con o sin inyección de líquido piroleñoso;
- 3- Recuperación por lavado y filtraje;
- 4- Recuperación por aglomeración y desintegración del líquido recirculante.

Los fluxogramas mostrados en la figura 5 retratan los tipos de equipos probados en nuestra área de producción.

Los rendimientos medios de cada uno de ellos son mostrados en la figura 6 y la evolución gradual de los valores muestra el paulatino dominio de conocimientos que permitirán agilizar la recuperación de alquitrán, con los equipos de los fluxogramas 5 y 6.

Figura 6

Evolución en la producción del alquitrán



El equipo del fluxograma 5 está basado en el mecanismo de recuperación por impactación inercial y está constituido de un elevador, un filtro ciclónico y un disipador. Todo el conjunto es acoplado a dos hornos que permiten su funcionamiento sin interrupción, pues, cuando un horno está en carbonización, el otro está enfriándose. Por su buen rendimiento, este equipo fue seleccionado para el inicio de la recuperación del alquitrán en fase comercial. La Florestal Acesita S/A montó en diciembre del 82, 18 equipos de éstos, en una de sus carboneras, y que produce actualmente, 75 ton/mes de alquitrán.

Hoy, la Florestal Acesita S/A, desarrolla un nuevo proceso de recuperación, por aglomeración y desintegración del líquido recirculante, que al eliminar el lavador, es conectado a 8 hornos, (fluxograma 6) funcionando con cuatro de ellos simultáneamente, redujo substancialmente la inversión inicial, el consumo de energía eléctrica y la mano de obra, posibilitando que el alquitrán sea producido con un costo de 55% inferior al del proceso de fluxograma 5.

Tabla I - Propiedades y Datos de la Combustión de Alquitrán y Otros Combustibles

Propiedades	Alquitrán	Diesel	Aceite Combustible
Densidad 20/4 ⁰ C	1,13 - 1,20	0,825	0,91 - 0,97
Punto de Fulgor (⁰ C)	140	74	130 - 160
Punto de Fluidez (⁰ C)	3	-	5 - 48
Viscosidad SSU 37,8 ⁰ C	400 - 4000	-	5000 - 10000
Azufre % peso	0,02	0,7	0,2 - 4,6
Poder Calorifico superior Kcal/Kg	5500 - 6000	10950	10350 - 10650
Agua y sedimentos (%vol)	10 - 15	0,1	0,5 - 2,0
Eficiencia media de quema (%) calderas	86*	75/90	75/90
Temperatura adiabática de llama (⁰ C) (21% de O ₂ en el aire)	1824	1942	1940

Resultados de las pruebas de quema, realizados por la Gessy-Lever.

Algunos problemas son provocados por el alto contenido de agua en el alquitrán, lo que, a pesar de todo, no llega a afectar el comportamiento general de la combustión. Hay inestabilidad de la llama en el inicio del funcionamiento de los hornos, pero esto se normaliza con la elevación de la temperatura de la cámara de combustión.

Tratando de minimizar estos problemas y maximizar la utilización del carbón, se está estudiando una mezcla de alquitrán con carbón. El fino de carbón (<8 mm) es molido a 200 mesh y mezclado con el alquitrán. El carbón retiene la humedad contenida en el alquitrán y establece mejores condiciones para la quema en cámara fría. Estos estudios están en fase final y prevén una utilización del fino de carbón del orden del 20% del total generado dentro de la fábrica.

El alquitrán podrá ser utilizado, también, en cerámica, fábrica de cemento, cal y en numerosos otros locales, donde la substitución por combustibles sólidos es más honerosa.

5.2.2. Mantención

Estimando en 2,5% al año del valor de inversión pasiva de mantención

Item	US\$/t
Recuperador	2,06
Bombas y extractores	0,37
Intercambiadores de calor	0,24
bomba para líquido	0,03
Total	US\$ 2,79/t

5.2.3. Energía eléctrica

Potencia necesaria - 36 Kw
Energía consumida - 20.000 Kw

Tomando la tarifa rural de baja tensión de US\$0,027 por Kwh medido (CEMIG - 8, julio, 83), el costo mensual será de 20.000 Kwh X 0,027 = US\$ 547,07.

5.2.4. Transporte

Considerando una distancia de 150 Km
Costo de transporte (julio, 83) = US\$80,034/t Km
Costo por tonelada de alquitrán Cr\$5,15/t.

5.3. COSTO DE PRODUCCIÓN - DEPRECIACIÓN EN VIDA ÚTIL

Item	US\$/t
Depreciación	7,64
Mano de obra	2,95
Mantención	2,70
Energía eléctrica	8,82
Transporte - 150 Kw	5,15
Administración (15%)	4,09
Total	31,36/t

Considerando una depreciación del equipo en 5 años y un valor residual de la instalación (10%) de US\$ 8.970,00.

Item	US\$/t
Depreciación	21,70
Mano de obra	2,95
Mantención	2,69
Energía eléctrica	8,82
Transporte	5,15
Administración (15%)	6,20
Total	47,51/t

económicamente posibles, que mejoren la calidad del alquitrán, principalmente reduciendo el porcentaje de agua.

Como el carboneamiento es realizado, generalmente, en áreas lejanas, distantes de redes de distribución de energía eléctrica, la Florestal Acesita S/A, utilizará, en su próxima instalación de recuperación de alquitrán, un grupo de generador de electricidad a gasogéno. Si ejecutados técnica y económicamente, los gasificadores resolverán el problema de disponibilidad de energía eléctrica, ayudando a la agilización de la implantación de los recuperadores de alquitrán.

Al lado de la tecnología aplicada a los hornos de albañilería, la Florestal Acesita S/A está experimentando un horno de carbonización continua para la producción de 15 t/día de carbón y 5 t/día de alquitrán vegetal. El proyecto está en la fase final de los detalles y deberá entrar a mediados de 1985. El alquitrán posibilita ahora, un mayor rendimiento, el cual, por ser menos oxidante, es más rico, en productos químicos; la aplicación de la tecnología de carbonización continua es limitada por la elevada inversión inicial necesaria, y sólo se posibilitará a medida que las condiciones ecológico-ambientales y socio-económicas fueran imposibilitando el empleo del horno de albañilería, y la Florestal Acesita S/A, pretende estar preparada para esta realidad futura.

BRIQUETAJE DE CARBON VEGETAL

Ricardo da Cunha Antunes*

1. Introduccion.
2. Historia.
3. Briquetas para uso Domestico.
4. Fabricacion de briquetas.
5. Costos.
6. Briquetas para uso siderurgico.
7. Briquetas para gasogenos.
8. Referencias bibliograficas.

* Investigador de la Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC.

1. INTRODUCCION

Cuando pequeñas partículas de material sólido son prensadas para formar bloques de forma definida y de mayor tamaño, el proceso es llamado de: fabricación de briquetas. A través de este proceso, los finos de materiales diversos, subproductos del beneficio industrial, son convertidos en productos de mayor valor comercial. Los principales materiales actualmente son: carbón mineral, minerales, carbón vegetal, virutas metálicas, carbonato de sódio, sales diversas, resinas plásticas, coque de petróleo, etc (figuras 7 y 5). En este texto será abordado sólo la fabricación de briquetas de carbón vegetal. Actualmente no existe ninguna instalación industrial para fabricación de briquetas de carbón vegetal en Brasil. Fueron hechas sólo algunas tentativas en pequeña escala, apesar de ser, nuestro país, el mayor productor mundial de este insumo.

Debido a su friabilidad, el carbón vegetal genera finos durante su producción, transporte y manoseo, tornándose necesario tamizarlo, de acuerdo con la granulometría más adecuada para su utilización en altos hornos de reducción. Los finos generados, que equivalen a 20% del total producido, eran poco utilizados en la mayoría de las usinas y corresponden al plantío de 200.000 ha de eucalipto, considerando toda la producción de arrabio a carbón vegetal en Brasil.

Las principales siderúrgicas brasileñas realizaron investigaciones durante varios años, en escala de laboratorio, intentando solucionar este problema.

Las causas que impidieron el desarrollo de esta industria en Brasil fueron:

- . El bajo precio pagado, durante muchos años, por el carbón "en pedazos", no tornaba económicamente viable la inversión en la fabricación de briquetas.
- . Mientras el carbón vegetal "en pedazos" es de bajo costo y abundante, el material más usado como aglutinante, el almidón, es de costo relativamente alto y su producción frecuentemente no atiende a la demanda interna. En los EUA, el mayor productor mundial de este tipo de briqueta, la situación es exatamente inversa.
- . Como consecuencia de la ausencia de mercado, jamás fueron fabricados, aquí, los equipos de fabricación de briquetas: prensas, mezcladores y secadores.

2. HISTORIA

La aglomeración manual de finos de carbón mineral es conocida desde tiempos remotos en China y en Inglaterra, con la utilización de aglomerantes de origen mineral, vegetal y hasta mismo animal. La fabricación comercial y mecanizada de briquetas de carbón mineral tuvo inicio en Francia en 1842, por Masais. Hasta la época de la 2ª guerra mundial fueron producidas grandes cantidades de briquetas, principalmente de carbones minerales, en diversos países de Europa y eran usados en hornos y calderas. Con el aumento de la producción de petróleo y reducción de su precio, esta actividad decayó juntamente con el uso de combustibles sólidos. En 1915 fue construida una fábrica en Kingsport, Tennessee, USA, para producir metanol a través de la destilación destructiva de la madera. Los finos de carbón vegetal, que eran subproductos del proceso, eran briquetados, usándose alquitrán de madera aglomerante, que también era residuo del proceso de destilación. Las briquetas eran entonces coquificadas en un horno para ganar resistencia y reducir el porcentaje de hollín, liberado por el alquitrán. Estas briquetas eran de buena calidad, consistentes y resistentes a la humedad, sin embargo tenían el defecto de ser difíciles de encender en braseros. La fábrica fue posteriormente construida en otro local y, así mismo, continuó operando después de la interrupción de la producción de metanol por destilación. Otra fábrica de briquetas fue construida muchos años después por la Ford Motor Co. en Iron Mountain, Michigan, con un fluxograma totalmente diferente. La materia prima era constituida de virutas de madera, usada en la carrocería del modelo "T". Las virutas eran carbonizadas en un horno rotatorio y el carbón molido posteriormente. El aglomerante consistía en una mezcla de 5% de almidón y 30% de agua, las briquetas eran secadas en un horno Túnel, después enfriadas y empaquetadas. Estas briquetas eran leves, friables y de fácil ignición, como resultado de la elevada porosidad, inducida por el alto porcentaje de humedad inicial del aglomerante. A pesar de que esta instalación pionera tuvo que cerrar, cuando la madera dejó de ser usada por la industria automovilística, el proceso sobrevivió.

Figura 1 - Briquetas de materiales diversos

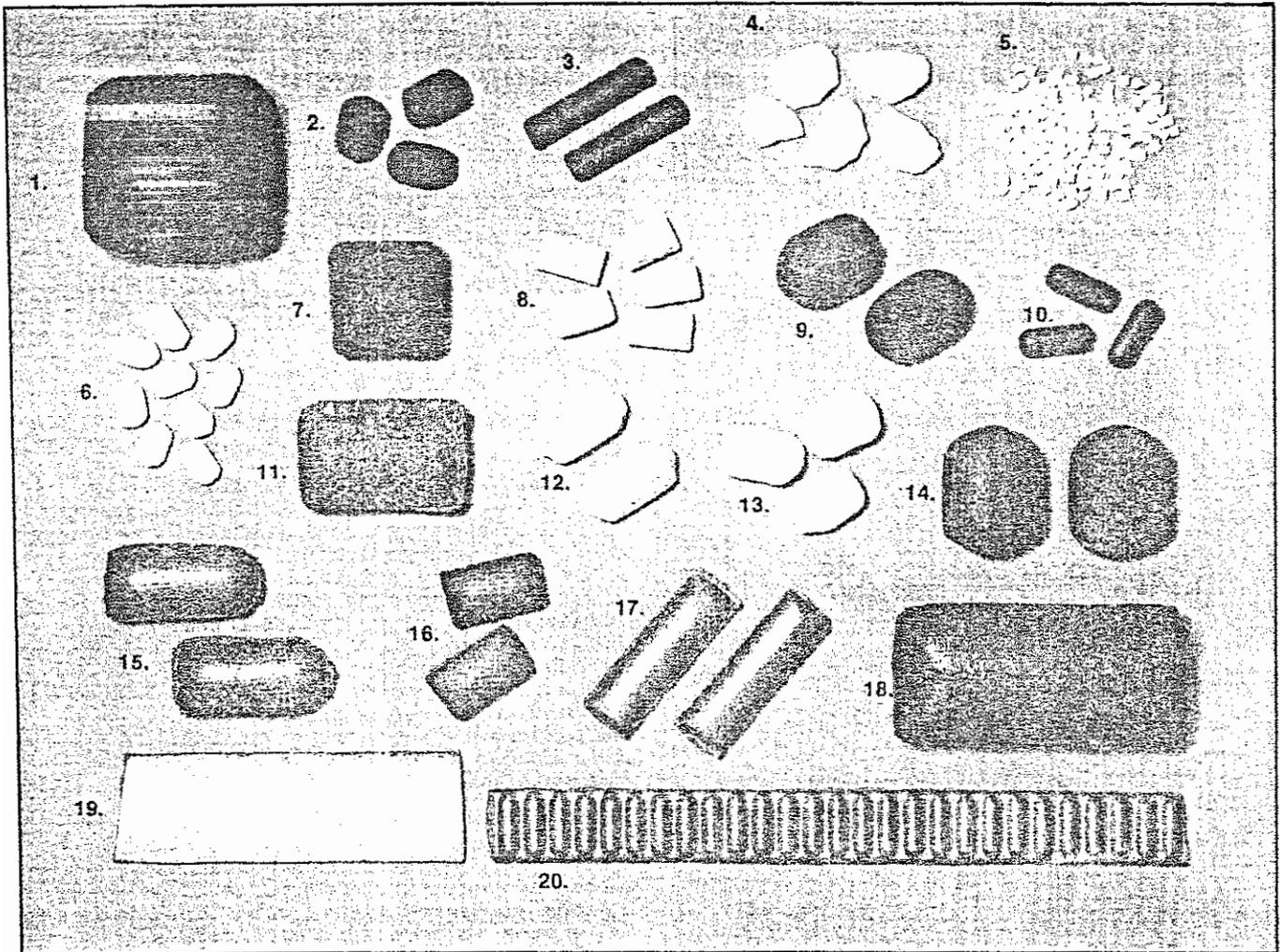
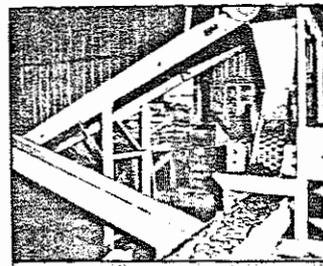


Figura 2 - Fabricación de briquetas de carbón vegetal

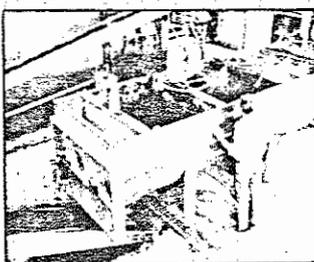


Fabricación de briquetas de carbón vegetal

RECIBIMIENTO Y MOLIENDA DEL CARBÓN VEGETAL



PRENSADURA DE LA MASA EN BRIQUETAS



MEZCLA CON ADICIÓN DE AGUA Y AGLUTINANTES



SECAMIENTO DE LAS BRIQUETAS EN SECADOR ESPECIALIZADO A LA BASE DE FÓSFORO CARBÓN VEGETAL

Figura 3 - Briquetas de carbón vegetal

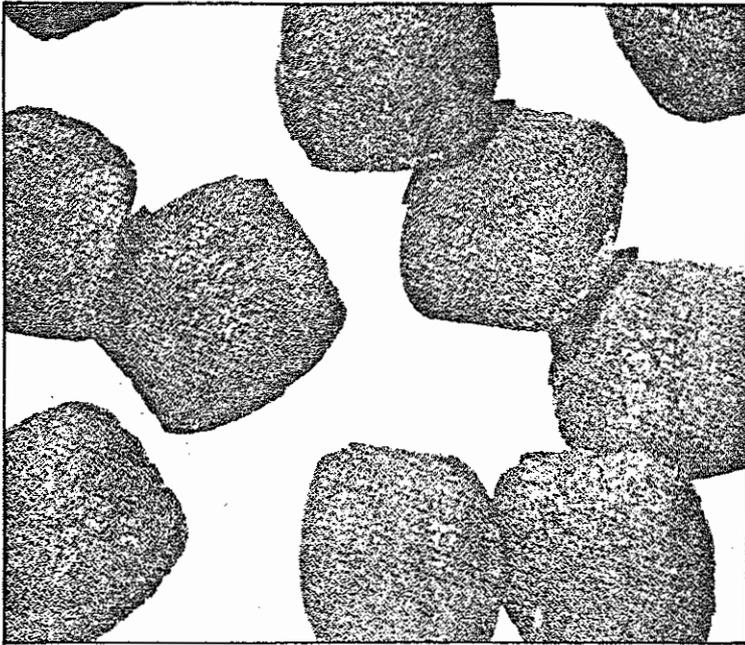


Figura 4

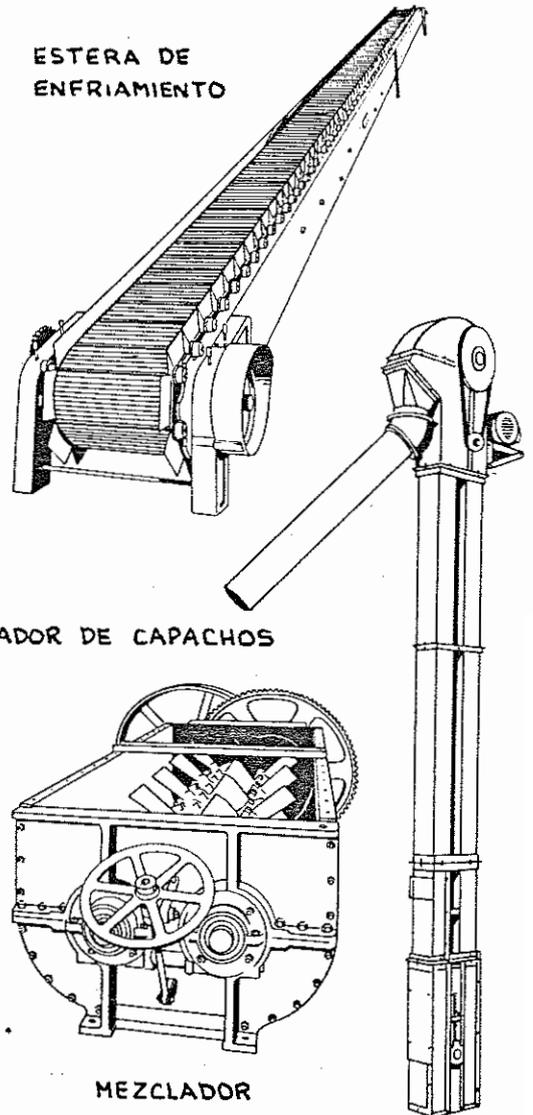


Figura 5 - Briquetage de retazos de aluminio

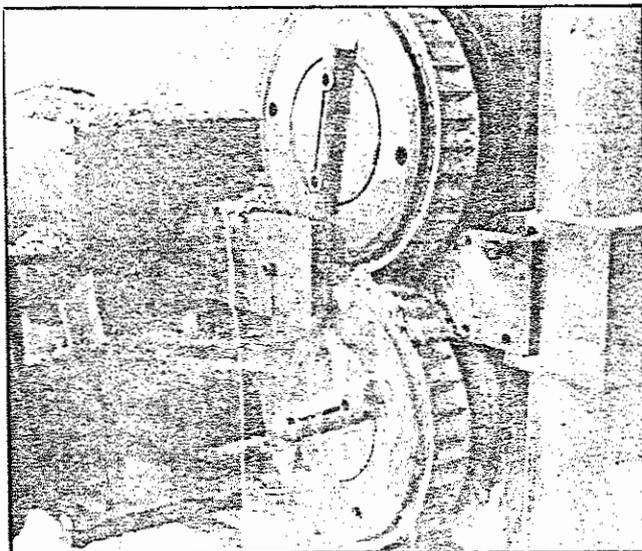


Figura 6 - Prensa de 2 rodillos

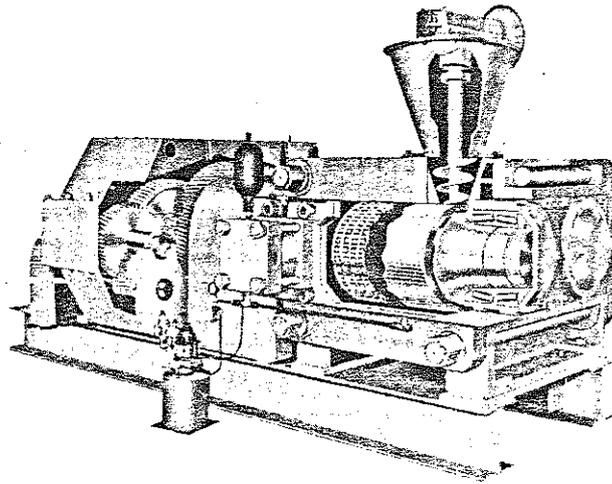


Figura 7 - Rodillo em pieza única y rodillo segmentado

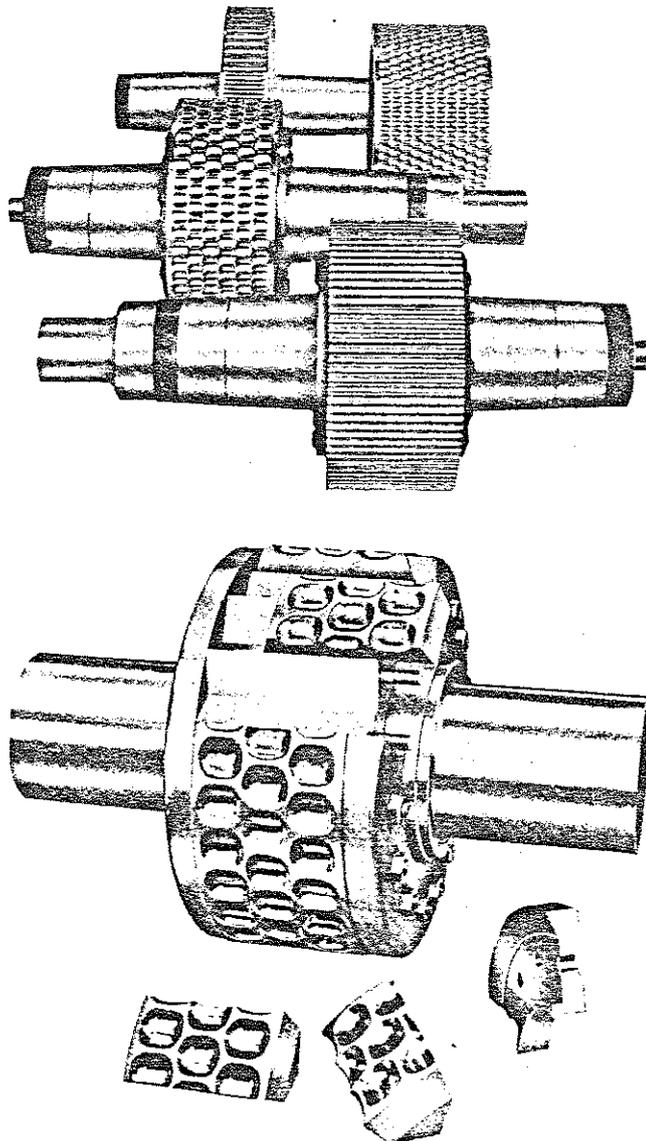


Figura 8 - Briqueta

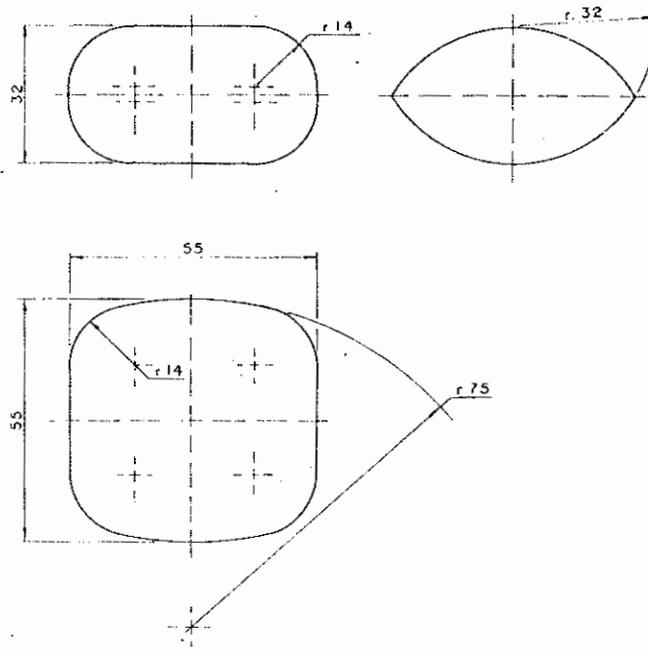


Figura 9 - Detalle de la formación de las briquetas

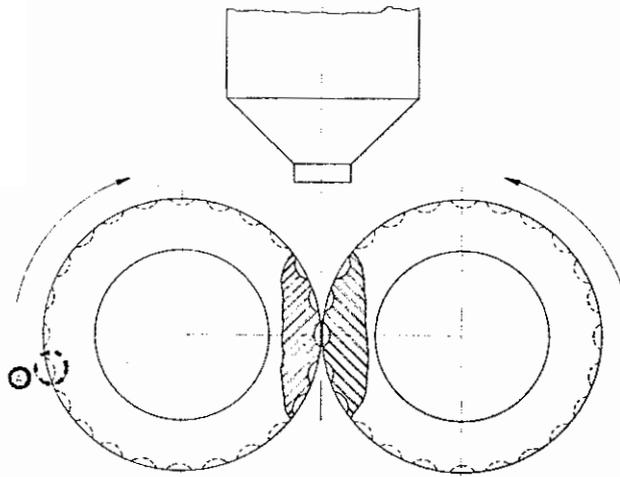


Figura 10 - Cavidad del rodillo

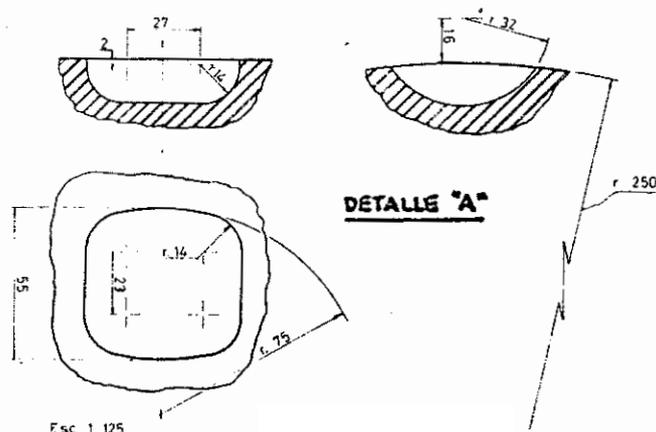


Tabla I - Especificaciones generales para instalaciones de briquetaje de carbón vegetal.

Capacidad	t/h	1,2	2,4	3,6	4,8
	t/año (20h/día)	8.700	17.500	26.000	35.000
Área construida (m ²)					
. depósito de carbón		400	800	1.200	1.600
. briquetaje		360	480	700	840
. embalaje		160	360	640	1.000
. depósito de briquetes		3.500	7.000	10.500	14.000
. escritorios, etc.		160	200	240	280
Potencia eléctrica motor (CV)					
		160	230	340	430
Energía térmica para secado (Kcal/h).10 ³					
		750	1.500	2.250	3.000
Personal empleado					
. administrativo		3 - 4	4 - 6	7 - 9	7 - 9
. producción		18 - 22	25 - 30	30 - 35	40 - 45

carbón vegetal, lo que los torna adecuados para uso en alto hornos, visto que reductores muy reactivos disminuyen la zona de reserva térmica. En los Horno Eléctricos de reducción, la reactividad a bajas temperaturas no es factor de gran influencia, visto que la tasa de reducción indirecta en ese tipo de horno es pequeña.

c) Utilización

Las briquetas han sido usadas inicialmente, en el precalentamiento de chatarra del convertidor - LD, en substitución al coque. Ya fueron realizados tests con resultados satisfactorios con la substitución parcial del carbón vegetal (hasta 20%), por briquetas, en el Horno Eléctrico de Reducción y en el Alto Horno.

. Higroscopía

La absorción de humedad atmosférica por las briquetas es muy reducida, este factor es de gran importancia en los períodos lluviosos.

. Resistencia mecánica

Menor formación de finos en el manoseo, en el almacenaje y en la distribución del combustible.

En la década del 40, en Europa, fueron producidas briquetas con esta finalidad y se realizaron ensayos con motores con dinamómetro. Algunos resultados están en la tabla nº 2. Además de las briquetas aglomeradas con almidón, en proceso semejante al anteriormente descrito, fueron hechas briquetas con alquitrán mineral o vegetal. En este caso, fueron obtenidas a través de la compresión del polvo de carbón, mezclado con 15% de alquitrán, a la presión de 50 a 400 Kg/cm². La solidez era conseguida con la coquificación, en la temperatura de 800 a 900°C.

Tabla II - Características de diferentes combustibles para gasógeno automotrices.

Motor: 40 CV a la gasolina razón de compresión: 10/1

Tipo de combustible	densidad (Kg/l)	Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	Humedad (%)	Potencia media (CV)
Leña	0,350	4100	20	28
"Tizon" de leña	0,240	5700	7	31
Carbón vegetal	0,200	7300	7	30,8
Antracito	0,600	7500	5	28,5
Biquete CV + alquitrán	0,500	7100	5	30
Briquete CV + almidón	0,600	7000	5	32

UTILIZACION DEL CARBON VEGETAL EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO.

LA EXPERIENCIA DE LA SOEICOM.

Benami Waisberg*

1. Introducción.
2. Descripción del proceso productivo.
3. Inyección de carbon en las torres de ciclones.
4. El Proyecto Sokom
5. Consideraciones sobre seguridad.
6. Conclusiones.
7. Bibliografía.

* Jefe de Producción de la SOEICOM,
en la fábrica de Vespasiano/MG.

1. INTRODUCCION.

Con la energía representando más de 50% del costo de producción y en consecuencia de la escasez del petróleo, las industrias del cemento se vieron forzadas a buscar fuentes alternativas de energía.

La opción adaptada internacionalmente fue el retorno al carbón mineral, resolviendo los problemas generados por la restricción en el abastecimiento del aceite combustible y por el aumento descontrolado del precio de los derivados del petróleo.

Esta solución, aunque relevante a corto plazo, debido a las elevadas reservas mundiales, trajo consigo algunos problemas, tales como:

- porcentajes elevados de cenizas y azufre, que provocan problemas de polución y crean dificultades para una utilización adecuada.
- el carbón mineral pertenece al grupo de los combustibles de fuentes no renovables.
- las reservas existentes en Brasil son de baja calidad (elevado porcentaje de cenizas) y están concentradas en el sur del país.
- debido a los problemas derivados del uso del carbón mineral y su influencia en el costo, se buscaron otras fuentes de energía, habiendo concentrado los esfuerzos en la utilización de fuentes renovables o en la utilización de subproductos, surgiendo así, estudios para la utilización de la madera, carbón vegetal, paja de arroz, neumáticos usados, basura, etc..

La gran modificación ocurrido en las industrias y que permitió la utilización de estos combustibles, no ocurrió en el proceso, pero sí en los técnicos y empresarios. Cuál sería la industria que reuniría sus técnicos para discutir asuntos tales como: la quemazón de neumáticos usados o basura, hace 30 años?. Hoy tenemos la seguridad de que ninguna idea será descartada antes de un estudio serio y detallado, por más extraño que pueda parecer.

Actualmente, la cuestión del cambio del aceite combustible para carbón es de carácter puramente económico; desde que la cuota del C.N.P. no implique en reducción de la producción, por tanto, no está muy lejos el día en que las reservas de petróleo serán destinadas exclusivamente para usos más importantes, tales como la utilización petroquímica y combustibles para transportes aéreos.

Trataremos de presentar en este trabajo una idea de cómo es una fábrica moderna de cemento, los esfuerzos desarrollados para substituir, parcialmente, el aceite combustible por carbón y, finalmente, los detalles de sistemas para el secado, molienda y

2. DESCRIPCION DEL PROCESO PRODUCTIVO.

La fábrica de la SOEICOM, una de las más modernas de la América del Sur, consiste en una instalación para la producción y molienda de 1.000.000 t/año de clinker de cemento Portland, conforme puede ser visto en la figura 1. Debido a las modificaciones realizadas en el proceso productivo, su capacidad efectiva fue aumentada de 3000 t/d. para 3600 t/d.

El horno rotativo con 84 metros de largo y 5,4 metros de diámetro (2% mayor horno de Brasil), es revestido en el interior con ladrillos refractarios para resistir las elevadas temperaturas, necesarias al proceso de clinquerización. La materia prima, después de ser procesada en el horno, transformándose en clinker, es enfriada en refrigeradores de satélite, donde el calor sensible de este material, es recuperando para la reutilización en el proceso, a través del calentamiento del aire secundario. El calor de los gases de combustión es recuperado en dos torres con cuatro circuitos de ciclones, permitiendo el precalentamiento de materia prima en suspensión en estos gases.

La alimentación de la harina cruda (nombre que se da a la mezcla de, aproximadamente, 85% de calcáreo y 15% de arcilla - finalmente molida), es conducida de los circuitos superiores de los ciclones a la entrada del horno, intercambiando calor con los gases del escape.

En este trayecto, el material es calentado aproximadamente de 25°C a 850°C, sufriendo una descarbonatación parcial, lo que puede ser visto en la figura 2.

El clinker, después de ser enfriado, es molido junto con pequeño porcentaje de yeso, siendo convertido en cemento Portland en la forma que es conocido, o en cemento de alto horno, si fuera molido con adición de escorias de alto horno, que atienden a las exigencias de las normas brasileñas.

Las reacciones químicas que suceden en el interior del horno, exigen temperaturas del orden de 1450°C. Sin embargo, prácticamente 50% del calor necesario para la producción de clinker, a través del proceso vía seca, es absorbido en la temperatura de 900°C, lo que puede ser visto en la tabla I.

Figura 2b: Permutador de dos columnas con toma de aire fresco.

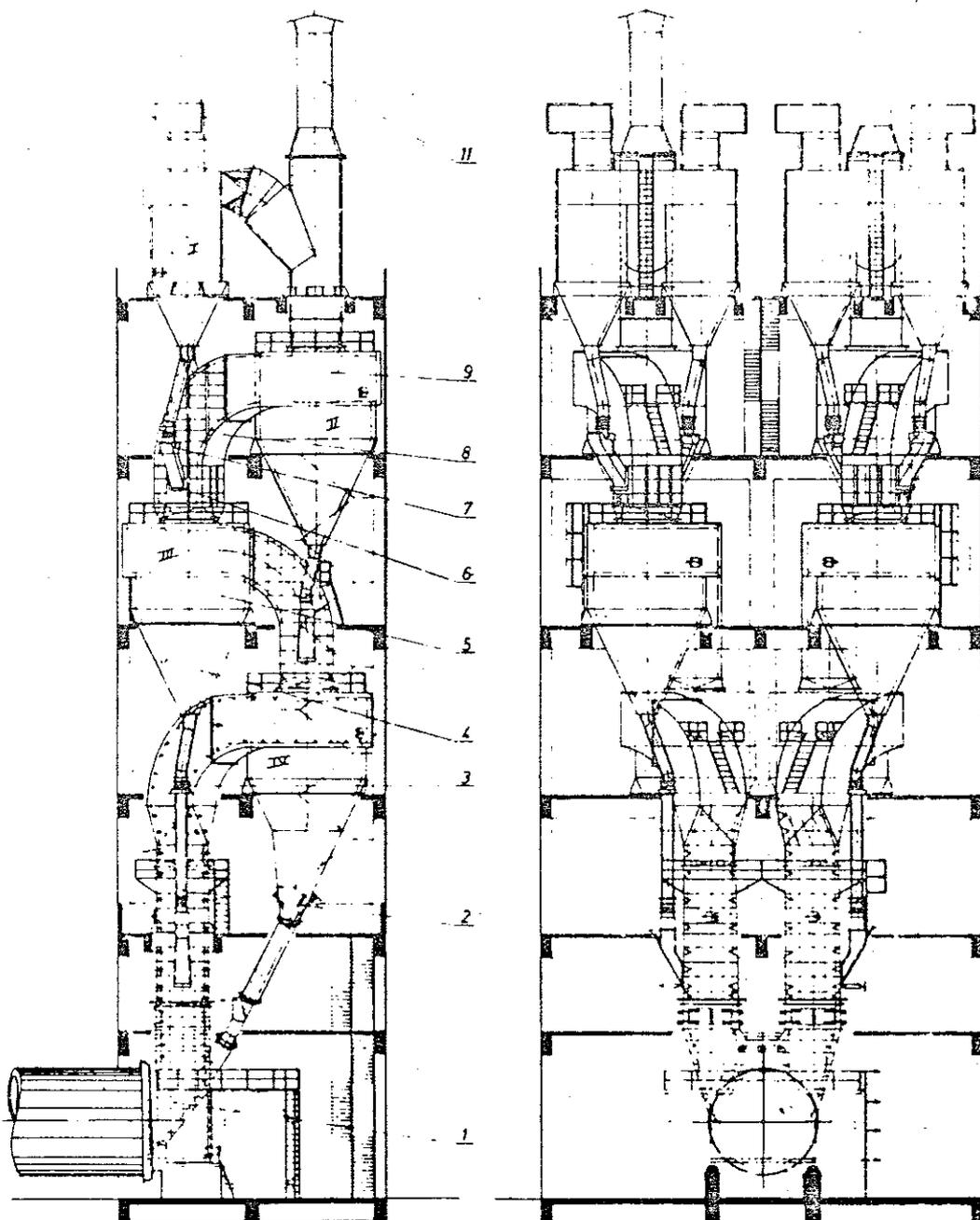


Figura 3a: Comparación entre tamaños y costos de los diferentes hornos, vía seca.

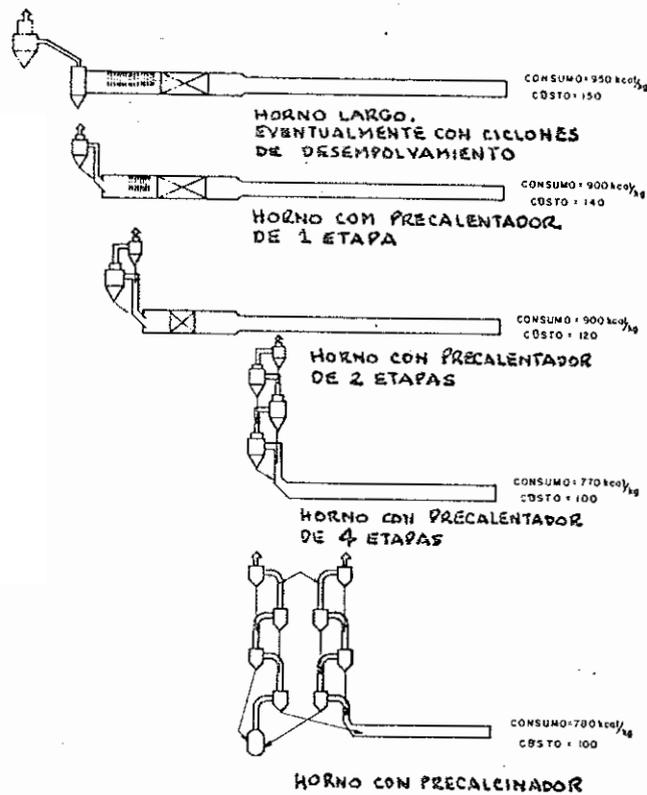


Figura 3b: Tipo de horno.

TIPO DE HORNO	SECAO PRE-CALIENTAMIENTO CALCINACION CLINQUERIZACION			
	VIA HUMEDA	HORNO		
VIA SEMI SECA	EQUIPO AUXILIARES	HORNO		
VIA SECA - HORNO LARGO	EQUIPO AUXILIARES	HORNO		
VIA SECA - PRECALENTADOR DE 1 Y 2 ETAPAS	EQUIPO AUXILIARES	HORNO		
VIA SECA - PRECALENTADOR DE 4 ETAPAS	EQUIPO AUXILIARES		HORNO	
VIA SECA - PRECALCINACION	EQUIPO AUXILIARES			HORNO

3. INYECCION DE CARBON EN LAS TORRES DE CICLONES

La substitución del petróleo combustible por carbón en la SOEICOM comenzó con la inyección de carbón mineral molido en las torres de ciclón, como puede ser observado en la figura 5.

Este proceso demostró poseer grandes ventajas operacionales a pesar de estar limitado a una substitución máxima de 30 a 35%.

Además de la reducción de consumo de aceite combustible, las principales ventajas de la inyección de carbón en las torres de ciclones son: la reducción de la carga térmica en la zona de quema y una mejor preparación de la materia prima en la entrada del horno, con reflejos positivos en la durabilidad del revestimiento refractario y en la estabilidad operacional del equipo.

Evidentemente existen algunas desventajas en este proceso de quema tales como:

- aumento de temperatura de los gases de escape de 20 a 30°C, implicando un mayor consumo de energía.
- baja de la calidad del clinker debido a la reducción en la homogeneidad de la materia prima, como consecuencia de la incorporación de las cenizas.

En el proceso vía seca existe, generalmente, el problema de formación de pegaduras e inscrustaciones en las torres de ciclones y anillos de pegadura, en el interior del horno, debido al fenómeno de volatilización de los álcalis, azufre y fluoruros en la zona de quema (temperatura de 1450°C) y condensación en las regiones más frías. Una gran ventaja de la utilización del carbón vegetal es la reducción del porcentaje de azufre que es adicionado al sistema, posibilitando un ajuste de la relación molar azufre/álcalis, con reducción en la formación de pegaduras.

Una consecuencia negativa de la utilización del carbón vegetal en los hornos rotatorios es la destrucción rápida de los ladrillos refractarios aluminosos debido a la infiltración por álcalis.

Este problema ocurrió en el horno de la SOEICOM, habiendo provocado la destrucción del revestimiento en un plazo muy corto, pero ya fue resuelto de modo satisfactorio.

Como se puede observar en la tabla II, ocurrió una reducción en el porcentaje de substitución en los meses de diciembre del 81 a febrero del 82. La causa de esta caída fue la elevada humedad del carbón, que provocó un gran número de obstrucciones en el sistema

4. EL PROYECTO SOKOM.

El proceso de clinquerización exige atmósfera oxidante y temperatura elevada, la cual debe permitir el control con gran precisión.

Para ser posible la utilización adecuada del carbón, se hace necesario su secado y su molienda, de modo que se obtengan las temperaturas adecuadas al proceso productivo.

Como regla práctica, el residuo en el tamiz de 170 mesh (90,4) debe ser, apróximadamente igual al 50% del porcentaje de volátiles del carbón, y el residuo en el tamiz de 65 mesh (20,4) debe ser inferior al 8% del porcentaje de volátiles, ésto es, un carbón con 25% de volátiles deberá poseer un residuo en el tamiz de 170 mesh inferior al 12% y un residuo en el tamiz de 65 mesh inferior al 2,0%, lo que puede observarse en la figura 6.

Para permitir la preparación del carbón del modo descrito encima, fue iniciado un proyecto que recibió el nombre de 50KOM. Este sistema, cuya preoperación está prevista para enero de 1983, prevee la substitución del aceite combustible por carbón mineral o vegetal, ya que permitirá la operación del horno con quemada mixta variando entre 0% a 100% de carbón y 100% a 0% de aceite combustible en el soplete.

La instalación consiste en un silo para el carbón bruto, un sistema alimentador de estera, un molino vertical con separador estático, sistema de despolvamiento, sistema de almacenaje, sistema de dosificación e inyección.

El molino vertical o de rodillo es la modernización de la antigua muela para la molienda de cereales. En este equipo, dos pares de rodillos que giran en torno de sus ejes, están apoyados sobre una mesa de molienda giratoria, provocando la reducción de la granulometría del carbón por trituración.

El equipo adquirido por la SOEICOM, trabaja con dos rodillos estrechos en el lugar de cada rodillo, los cuales se adaptan, individualmente, a la velocidad del plato de molienda. Con ésto queda bastante reducido el deslizamiento entre los rodillos y el plato de molienda, por lo tanto hay una disminución del desgaste.

Los pares de rodillos son presionados hidráulicamente sobre el lecho de material. La fuerza puede ser ajustada de acuerdo con las condiciones de operación.

Este tipo de molino permite la molienda y el secado del carbón con

humedad en la alimentación, de hasta 20%, desde que estén disponibles gases calientes con temperaturas adecuadas (figuras 7 a 12).

Figura 8: Molino de rodillos para molienda del carbón.

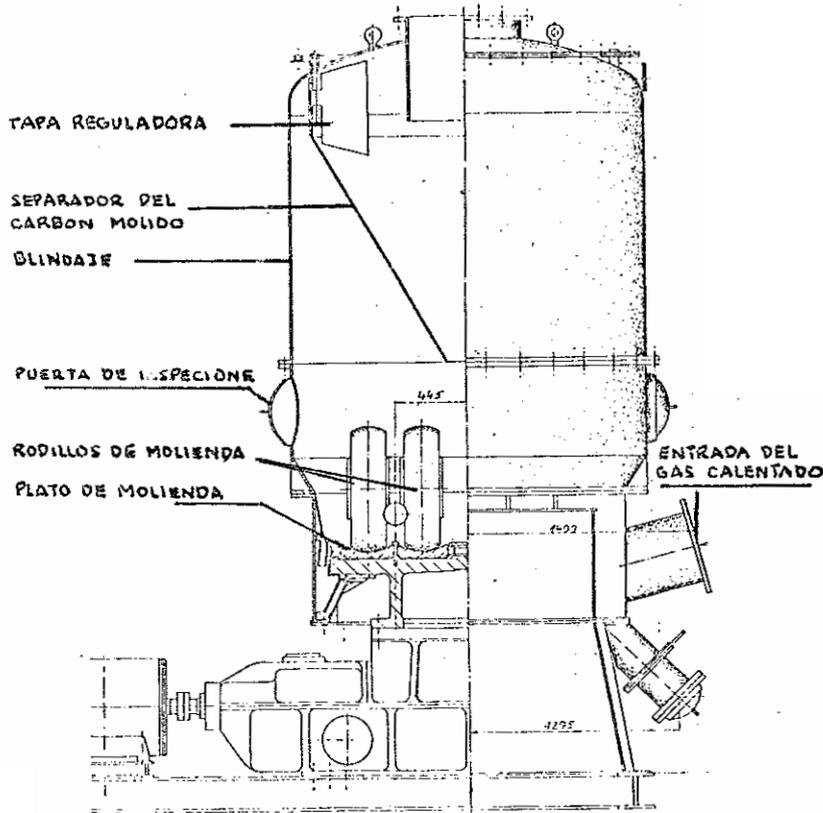
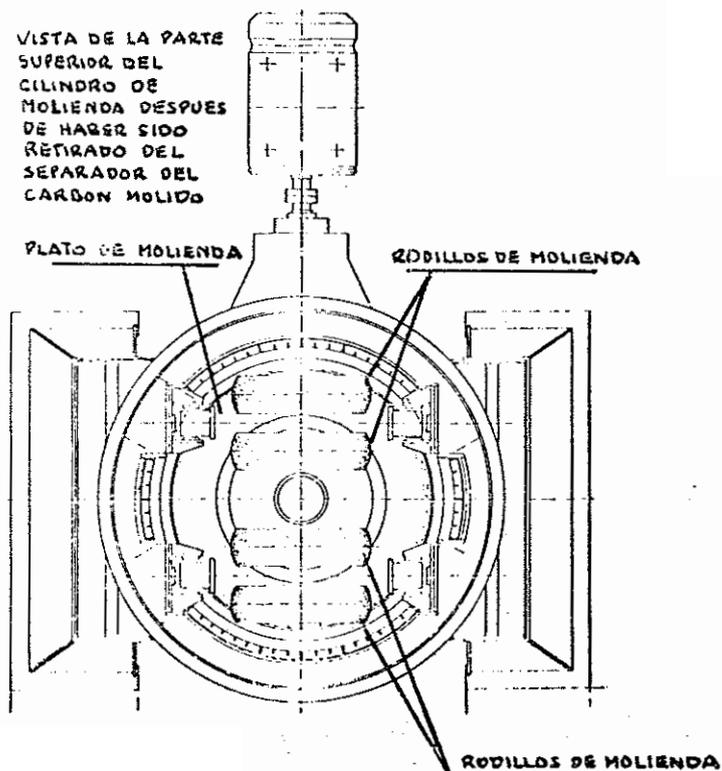


Figura 9: Molino de rodillos.



5. CONSIDERACIONES SOBRE SEGURIDAD.

La instalación de molienda y el almacenamiento de carbón están protegidas con toda la seguridad posible, habiéndose sido proyectado para soportar las presiones máximas que pueden ocurrir en caso de una explosión, disponiendo de sistemas para aliviar los daños en caso de accidentes (puertas de explosiones en los filtros de manga), y poseyendo un sistema inerte con CO_2 en el caso de aumento imprevisto de la temperatura o del porcentaje del monóxido de carbono.

Para que ocurra una explosión son necesarias tres condiciones, que deben suceder simultáneamente:

- existir polvo de carbón en una concentración explosiva en el aire (concentración superior a 40 g/m^3).
- existir porcentaje suficiente de oxígeno en los gases para mantener la combustión (superior a 13% de O_2).
- una fuente de ignición que podrá ser una chispa provocada por descarga electrostática (deficiencia en el terraplenaje), cuerpos metálicos, roce, etc.

Los gases utilizados en la molienda y secado son provenientes de las torres de ciclones que poseen un porcentaje de oxígeno del orden de 6 a 7% con el objeto de reducir el peligro de explosiones (ésto permite, también, la recuperación del calor residual que sería descargado en la chimenea del horno).

Existen estudios mostrando que no hay peligro de explosión para porcentajes de oxígeno abajo de 13%, aun cuando este límite se reduce para temperaturas elevadas. Para el caso del carbón con porcentajes de volátiles del orden de 30% y elevado grado de finura es recomendando un valor de trabajo de 8% de oxígeno para el sistema de molienda, con un valor de 10% de O_2 para la desconexión y la inertización del sistema. Este límite no deberá ser excedido durante los procedimientos de partida y parada, pues la mayor parte de las explosiones y accidentes ocurren en estos períodos.

Como garantía adicional existen analizadores automáticos de oxígeno y monóxido de carbono en la salida del molino, que bloquean el sistema e inyectan gas inerte, protegiendo los equipos contra una eventual explosión. Este sistema es necesario pues podemos tener entradas de aire imprevistas, debido a la ruptura de alguna empaquetadura, abertura de toberas o descontrol operacional del horno. Es de máxima importancia que las entradas de aire falsas sean reducidas al mínimo, de modo de mantener el oxígeno abajo del punto de explosión durante todo el período de operación.

6. CONCLUSION.

Los combustibles están representando una gran parte de los costos de fabricación y la tendencia es aumentar todavía más su participación en los próximos años. Además de esto la "disponibilidad" es un factor que nunca podremos menospreciar, pues el petróleo consumido en nuestro país es proveniente en casi 80% de fuentes externas.

Creemos que el uso del carbón vegetal y de los combustibles residuales (paja de arroz, desechos de caña, etc.) serán las opciones que se presentarán de manera apropiada para las industrias de cemento, no sólo por el bajo costo sino, también, por el hecho de possibilitar mayor independencia energética.

Las grandes industrias del cemento están reaccionando hacia la necesidad de desarrollar proyectos de reforestamiento, para la investigación de fuentes alternativas.

Existe, todavía, un gran vacío en la tecnología del procesamiento del carbón vegetal, que será necesario estudiar para que lo podamos utilizar con el máximo de rendimiento y seguridad.

La mayor parte de los datos existentes para el carbón, en la industria del cemento, se refieren al carbón mineral de origen extranjero.

Creemos que trabajos serios como el desarrollado por CETEC - MG, permitirán solucionar rápidamente esta necesidad.

USO DE GASOGENO EN MOTORES DE CICLO OTTO.

Warner Siquieroli*

1. Principios básicos.
2. Aspectos técnicos.
3. Dificultades en el funcionamiento.
4. Observaciones.
5. Aspectos económicos.
6. Aplicaciones.

* Director Técnico de la Industria Siquieroli Ltda., fabricante de gasificadores para alimentación de motores del Ciclo Otto.

1. PRINCIPIOS BASICOS.

El Gasógeno o Gasificador usado para alimentar motores de combustión interna del Ciclo Otto, consiste en un aparato capaz de generar, enfriar y filtrar una mezcla gaseosa usando como materia prima el CARBÓN VEGETAL.

1.1. GENERACIÓN DE GAS.

El producto final de un gasógeno, es una mezcla gaseosa, constituida de gases combustibles como: monóxido de carbono, hidrógeno, metano, etc. y, también, gases no combustibles como: nitrógeno, dióxido de carbono y otros. Por no ser este combustible constituido exclusivamente de monóxido de carbono, es conocido también, como gas pobre de carbón.

1.2. ENFRIAMIENTO.

Siendo el gas generado, a una temperatura superior a la exigida por el motor, él necesita sufrir un enfriamiento, antes de alimentar el motor, pudiendo ser hecho este proceso de maneras diferentes.

1.3. FILTRAJE.

El lecho, donde se procesa la generación de gas, posee un flujo orientado que arrastra consigo una considerable cantidad de ceniza y partículas de carbón, siendo necesario un filtraje para que pueda alimentar el motor sin provocarle daños, como por ejemplo , un desgaste prematuro.

2.2. PROYECTOS INTEGRALES.

Un proyecto desarrollado con esa finalidad, sea esta para tractores, barcos, vehículos de carga o pasajeros, etc. y que posea motor con la potencia requerida por la aplicación, así como espacio destinado para el gasificador, no sufrirá problemas como: falta de potencia o el uso de espacio destinado a otros fines.

2.3. ABASTECIMIENTO DE CARBÓN.

El abastecimiento de carbón en condiciones ideales para uso en gasificadores, es de fundamental importancia en la producción de gas de buena calidad para el motor.

2.4. ORIENTACIÓN.

Otro aspecto importante, es la orientación técnica, tanto de propietarios como de operadores, para que se obtenga un funcionamiento correcto del equipo.

2.5. SERVICIO TÉCNICO.

Un servicio técnico eficiente, con piezas para reposición, mantendrá siempre el equipo produciendo y con confianza.

2.6. FUNCIONAMIENTO.

Existen dos maneras de iniciar el proceso de generación de gas en un lecho gasificador:

a) - A través de ventiladores, succionadores o cualquier equipo capaz de hacer circular aire en el lecho donde se procesa la generación de gas. Esto permite que el motor opere, desde su partida, sin el auxilio de otro combustible.

b) - Haciendo uso de otro combustible auxiliar, de manera que la propia succión del motor realice la circulación de aire en el lecho gasificador, necesaria a la generación de gas.

El combustible auxiliar es utilizado hasta que se consiga una generación de gas capaz de suplir la demanda solicitada por el motor.

c) - El tiempo gastado en este proceso puede variar normalmente de 1 a 5 minutos.

El gas proveniente del gasificador es el combustible y necesita de una posterior mezcla con un comburente, que es el aire atmosférico. Esta mezcla es hecha, antes que ésta llague hasta el motor.

Esta mezcla es controlada por el operador, no necesitando para ésto de gran habilidad del mismo.

En seguida se coloca el motor en funcionamiento. De ahí en adelante, la generación del gas está en función de la demanda del motor, siendo ella tanto mayor cuanto mayor sea lo solicitado por el motor. La respuesta del gasógeno es casi instantánea en los aumentos de la demanda.

El funcionamiento de un motor movido a gas de carbón vegetal es estable, sin trepidaciones o fallas, ésto sucede porque la perfecta

3. DIFICULTADES EN EL FUNCIONAMIENTO.

3.1. HUMEDAD DEL CARBÓN.

Una de las dificultades más frecuentes ocurre cuando se usa carbón con exceso de humedad. Esto provoca una baja temperatura en el lecho del gasificador lo que perjudica la generación de gas. Cuando este gas se enfría puede ocurrir que el vapor de agua se condense en los filtros, en los intercambiadores de calor, lo que puede alcanzar hasta el motor, impidiendo el funcionamiento.

3.2. IMPUREZAS DEL CARBÓN.

El uso de carbón que contiene porcentajes elevados de impurezas, tales como: sílice, arcilla, etc., provenientes de la erosión de las paredes de los hornos o del movimiento del carbón sobre el suelo, produce problemas.

Estos contaminantes formarán un depósito sólido en la zona de mayor temperatura del lecho, obstruyéndolo rápidamente y aumentando la frecuencia de limpieza.

3.3. GRANULOMETRÍA.

Para el buen funcionamiento de un lecho, los huecos formados por la granulometría del carbón deben permitir una irrigación adecuada de aire, ofreciendo la mayor área de gasificación posible.

3.4. CARBÓN DE MALA CALIDAD.

La carbonización incompleta de la madera origina un producto que posee una cantidad de volátiles que causan dificultades en el filtraje y hasta daños en el motor.

Los carbones generados con maderas no adecuadas comprometen el buen desempeño del sistema.

3.5. SELLADO DEL SISTEMA.

La penetración del aire a través de las tapas del sellado podrán provocar la combustión del gas antes de que éste llegue al motor, lo que producirá un recalentamiento del conjunto. Cuando la penetración existe en grandes proporciones puede ocurrir la completa paralización del motor.

4. OBSERVACIONES.

4.1. GAS DE AGUA.

El gasificador puede operar admitiendo una cierta cantidad de agua (de preferencia bajo la forma de vapor caliente) junto con el aire en la entrada del lecho, produciendo así un gas enriquecido de hidrógeno. Esto produce resultados satisfactorios en el motor, tales como: aumento de potencia y aceleraciones más rápidas.

4.2. TEMPERATURA EXTERNA DEL GASIFICADOR.

Un gasificador cuando está en operación puede presentar un cierto calentamiento externo, siempre que no ultrapase ciertos límites, lo que comprometería su estructura o sus componentes como: filtros, chapas, causando algún peligro a su alrededor debido a la alta temperatura. Cabe al fabricante solucionar tal problema de la mejor forma posible.

4.3. CARBÓN Y OTRAS MATERIAS PRIMAS.

Es importante tener presente las dificultades que se tienen en la generación y purificación de un gas producido por un combustible pobre, como es el carbón vegetal, cuyas características fueron muy bien controladas.

Esto explica por qué algunos fabricantes no aceptan otras materias primas para ser utilizadas en la producción de gas, tales como: madera, basura, residuos de caña, etc.; este gas que alimentará los gasificadores que se destinan a producir combustibles para motores, principalmente en los de pequeño tamaño (menores de 500 cv). La utilización de estas materias primas, menos nobles, quedarían restringidas a las instalaciones de gran tamaño, donde el sistema de filtros pueda ser proyectado económicamente, para garantizar la pureza del gas generado.

El control de calidad del carbón debe partir de la selección de la madera y seguir cuidando de la preparación de la misma, escogiendo el proceso de carbonización y manipulación, etc.

De esta manera se consigue minimizar los esfuerzos para la obtención de un buen combustible capaz de alimentar, sin comprometer el funcionamiento y la duración de un motor de combustión interna.

4.4. GASIFICADOR DESACTIVADO.

La paralización de un gasificador, por uno o más meses, o por una

5. ASPECTOS ECONOMICOS.

La grande y única ventaja de la utilización de gasificadores a carbón vegetal, en la alimentación de motores, es la economía.

Por tratarse de una usina generadora de combustible con todas las funciones descritas en el ítem 1, el gasificador requiere una mantención. Por ésto, un conjunto de motor-gasificador, necesita de más cuidados de lo que necesitaría un motor equivalente, alimentado con combustibles convencionales como: gasolina, diésel o alcohol.

Así mismo los costos operacionales aseguran una gran economía conforme a la tabla I.

La inversión relativa a la adquisición de un conjunto (motor Ciclo Otto más gasificador) es significativamente menor que el de un conjunto Ciclo Diesel, de la misma potencia, lo que le permite producir potencia a un costo menor, considerando solamente el precio del equipo.

Cuando se suma a una inversión menor y un costo operacional también menor, se obtienen buenos resultados en determinadas aplicaciones. Como ejemplo, el costo de un gasificador para equipar un motor Ciclo Otto de 45 cv, es de aproximadamente CR\$ 170.000,00 (ciento setenta mil cruzeiros).

El retorno de esta inversión se dará en 110 horas debido a la diferencia de costo por kilowatt hora entre la gasolina y el carbón. Esa diferencia, entre el diésel y el carbón, garantiza el retorno de la inversión en el gasificador en 370 horas, no tomándose en cuenta aquí, la diferencia de costo entre los motores Diesel y Otto.

Todavía en el aspecto económico se debe considerar que carbón no posee un precio fijo en el mercado, existiendo así una competencia entre los revendedores o entre los propios productores.

Por otro lado, los procesos de obtención son relativamente simples y, cuando es posible producir su propio combustible, garantiza al usuario, además, una mayor economía.

6. APLICACIONES.

Entre las aplicaciones que hoy presentan posibilidades, citamos: camiones medios, pick-ups, moto-bombas para irrigaciones agrícolas, tractores agrícolas, barcos para transportes fluviales (principalmente para el norte del país), generación de energía eléctrica, en zonas rurales, dragas para extracción de arena y

6.1. USO EN MOTORES NUEVOS.

Al adquirirse un motor Otto, nuevo, para ser alimentado por un gasificador de carbón vegetal, se debe optar por un motor constituido para funcionamiento a alcohol pues, éste, presenta ventajas sobre los motores construidos para operar con gasolina entre las cuales la razón de compresión más elevada y la ignición más potente, son factores que contribuyen para el aumento de potencia (= 10%) sin que esto altere su consumo horario de carbón.

6.2. USO EN MOTORES USADOS.

Los motores reacondicionados por rectificaciones idóneas, presentan una vida útil de 80 a 90%, comparado con los motores nuevos, los motores reacondicionados cuestan hasta 80% menos con, prácticamente, el mismo rendimiento.

El motor usado, sea a gasolina o a alcohol, que esté en condiciones normales de funcionamiento, con su combustible original tendrá, también, un buen funcionamiento con gas de carbón. Por tanto, si él presenta malas condiciones de funcionamiento con su combustible original, y es alimentado con gas de carbón vegetal, ciertamente los defectos se agravarán, debido al bajo poder calorífico del gas, llegando al punto de no poder funcionar.

6.3. USO EN CAMIONETAS, CAMIONES Y MOTOBOMBAS.

Una camioneta equipada con gasificador presenta buenos resultados, tratándose de un vehículo relativamente leve y que en la mayoría de las veces posee un motor igual a los motores utilizados por camión mediano (Ciclo Otto). Esto proporciona al vehículo una razonable relación peso-potencia, lo que le garantiza un buen desempeño. Además de eso, la facilidad de instalación del equipo dentro del compartimiento de carga es otra ventaja presentada por esos vehículos.

La adaptación hecha en un camión mediano, o sea, con un peso bruto de 10 a 12 toneladas, sólo presenta buenos resultados cuando es usado bajo condiciones topográficas más favorables, o si es en terrenos más accidentados, deberá reducirse la carga del vehículo.

La construcción de motobombas para riego agrícola, equipada con gasificador, es bastante interesante, pues una vez determinada la potencia obtenida, se selecciona la bomba a ser utilizada, permitiéndose así, el equilibrio entre la potencia generada y la requerida.

Se puede, todavía, hacer uso del agua bombeada en el cambio de calor, tanto del motor como del gasificador, obteniendo así, economía en la potencia gastada para generar esta tarea.

La aplicación de gasificadores en la alimentación de motores Otto, en bancos de transporte o dragas, tienen prácticamente, las mismas ventajas obtenidas en motobombas de riego agrícola.

USO DEL GASOGENO EN MOTORES DE CICLO DIESEL.

Luiz Antônio Leite de Faria*

1. Introducción.
2. Principios básicos.
3. Materias primas.
4. Aspectos técnicos.
5. Aspectos económicos.
6. Bibliografía.

* Asesor técnico de la Dirección
Operacional de la EXPLO-Industria
Química de Explosivos.

1. INTRODUCCIÓN

Gasógenos o gasificadores, son equipos destinados a transformar en gases combustibles sustancias sólidas, de origen vegetal.

Este tipo de equipo es conocido hace más de un siglo, habiendo registros de 1.682, cuando el francés Trebanillet y el español Arbo's trabajaron en el proyecto de este equipo.

Un decreto del Ministro de la Industria y Comercio de Prusia, fechado de 20 de junio de 1.904, establecía "Normas para Utilización de Instalaciones Motrices a Gas de Gasógenos".

Ya en el año de 1.906, fueron establecidas normas por la Asociación de los Ingenieros Alemanes, Unión de los Constructores de Máquinas y Sindicato de los Constructores de Motores a Gas, para "Determinación de Potencia en Motores y Gasógenos".

De 1.920 a 1.944, Francia (Berliet, Panhard, Renault), Alemania (Imbert, Fritz Wenwe), Suecia, Australia e Italia (Fiat, Alfa Romeo), hicieron progresos en el uso del gasógeno en motores ciclo otto.

Aunque estimulados por el Ministerio de la Agricultura, desde los años 30. en Brasil el uso de gasógenos en motores fue diseminado a raíz de la 2ª Guerra Mundial (1943), resaltando el trabajo del Profesor Lauro B. Sicilliano, fechado en esa época.

Sobre la adaptación de motores de ciclo Diesel a gasógeno, de muy poco se tiene noticia porque, en la época en que fueron utilizados, los motores Diesel eran poco difundidos.

Como se puede notar, por la literatura existente, el carbón, la madera y consecuentemente los gasificadores, son recordados por ocasión de crisis energéticas, generadas por la escasez o por el alto costo de los combustibles de origen fósil.

De este modo, a partir de la segunda mitad de los años 70, los antiguos proyectos fueron resucitados, estudiados nuevamente y modernizados en varios países, inclusive en Brasil, con la intención fundamental de adaptarlos a motores de ciclo Diesel, objetivo principal de éste, nuestro trabajo.

- b) Presión en el gasificador.
Presiones elevadas facilitan la formación de metano y presiones bajas facilitan la formación de CO.
- c) Humedad relativa del aire de combustión.
- d) Tipo, humedad y granulometría del combustible utilizado (Tabla I).
- e) Velocidad del aire de combustión, que es función de la rotación del motor y de la granulometría del combustible utilizado, así como de la pérdida de carga del sistema.

2.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CICLO DIESEL CON GAS POBRE.

El funcionamiento de un motor ciclo Diesel con gasógeno no exige modificaciones significativas en su proyecto original, digamos que es hasta más simple que en un motor ciclo Otto. Así podemos ver:

- 1º) El accionamiento del motor es hecho normalmente con óleo Diesel, permaneciendo en una rotación pre-establecida (marcha lenta).
- 2º) El encendido del gasificador es hecho a través de la succión del propio motor, no necesitando de veleta accionada eléctricamente.
- 3º) Como el gas es grandemente antidetonante, para hacer compensación a su bajo poder calorífico, se debe elevar la razón de compresión hasta 10:1 en los motores Otto, o trabajarse con el motor Diesel Original, con razones de compresión total mucho mayores (17:1 a 20:1) sin modificaciones, inyectándose un porcentaje de óleo Diesel y evitándose altos porcentajes de hidrógeno en el gas por la no utilización de inyección de vapor de agua en el gasificador.

El principio de funcionamiento, por tanto, queda resumido a la siguiente secuencia:

- 1) Producción del gas por el gasificador, succionado por el motor (Fig. 2);
- 2) Purificación del gas a través de sistemas mecánicos de filtración;
- 3) Mezcla del gas con el aire de combustión (para el gas y para el Diesel);
- 4) Admisión del gas combustible + aire al motor, a través del colector de admisión;
- 5) Inyección de un porcentaje de óleo Diesel (10 - 20%) a través de la bomba inyectora, devídamente modificada;
- 6) Encuentro de los combustibles, líquidos y gaseoso, más el aire de combustión, en la cámara de combustión (admisión);
- 7) Compresión de mezcla combustible (compresión);
- 8) Ignición de la mezcla en el cilindro (explosión);
- 9) Expansión de los gases de la quema (escape).

Tabla I - Influencia de la humedad del combustible; composición del "gás pobre".

% volume	Humedad		
	0 %	10%	20%
CO	21	16,5	12,0
CO ₂	10	12,7	15,3
H ₂	18,0	18,2	19,0
H ₂ O	4,6	6,8	9,3
CH ₄	0,7	1,0	1,7
N ₂	46,0	44,8	42,7
PCI (Kcal/Nm ³)	1160	1070	990

Tabla II -

Gás	PCI. Kcal/Nm ³	Kg/Nm ³	PCI. Kcal/Kg
Natural	8.710	0,74	11.800
Gás de Nafta	4.220	0,75	5.700
GLP (medio)	25.282	2,29	11.025
Gás Pobre	1.320	1,10	1.200

Ambas alternativas son viables, dependiendo del gasificador que se tiene o que deberá ser proyectado. Las ventajas y desventajas deben ser pesadas individualmente.

Al fabricarse carbón, normalmente en hornos "meda" o "calera", los volátiles son quemados o se pierden en la atmósfera.

Así, el carbón presenta bajo tenor porcentaje de piroleñosos, siendo adecuado a cualquier tipo de gasificador y exigiendo sistemas de purificación del gas menos sofisticados.

Debemos recordar que, además de la pérdida energética a través de los volátiles, tenemos pérdidas en la quiebra y manoseo a través de los finos de carbón que, aunque puedan ser briquetados, exigen para esto, energía y equipos especiales.

En el caso de la gasificación directa de la madera, tenemos el aprovechamiento energético de los volátiles, pero en contrapartida tenemos:

- a) Secado de la madera hasta un nivel compatible al su uso en gasificadores (energía);
- b) Subdivisión de la madera en pedazos adecuados al tamaño de un gasificador para motores, exigiendo para eso, equipo adecuado (Sierra);
- c) Proyecto de un gasificador que elimine por pirólisis, los alquitranes;
- d) Sofisticado sistema de purificación y enfriamiento de los gases, con condensación de la humedad arrastrada por los mismos;
- e) Riesgo de arrastre de alquitrán no pirolizado mientras el sistema no alcanza la temperatura de equilibrio.

Como podemos observar, aunque haya ventajas a favor de la gasificación de la leña, en términos energéticos, el uso de carbón en gasificadores acoplados a motores muestra ventajas en cuanto a mayor simplicidad operacional y de proyecto y proporciona, también, mayor repetitividad en los resultados obtenidos.

- Proyecto del reactor

Debemos dimensionar un reactor donde el volumen de aire admitido pase por la zona de reacción, que es una camada de carbón incandescente, a una velocidad tal que todo el oxígeno reaccione con el carbono y produzca el máximo en CO, con una mínima cantidad de CO₂ no reducido.

Así, la camada de carbón debajo de la entrada de aire tendrá su espesura hasta la rejilla, de acuerdo con el volumen y velocidad del aire admitido (m³/min).

En la práctica, esto puede ser dimensionado, partiéndose de un modelo teórico de gasificador acoplado a un ventilador de succión, que hace el papel de motor.

Variando la velocidad del ventilador y analizando los gases producidos, se puede, a partir de ahí, aumentar o disminuir la velocidad del oxígeno dentro de un reactor, y ajustar el tiempo de reacción ideal para el tipo de motor en que se desea aplicar el gasificador.

Otro factor a ser medido es la temperatura en la zona de oxidación, que debe estar entre 900° a 1100°C.

- Proyecto del Depósito

El depósito debe ser dimensionado de acuerdo con la autonomía deseada, en función de la potencia y combustible sólido consumido por el motor, aunque por razones estéticas y operacionales (en el caso de tractores y bombas de irrigación) esto ni siempre es posible.

Por ejemplo, un motor Diesel de 60HP consume en media 9 kg/h de carbón vegetal, trabajando a 1800 r.p.m., por tanto, para una autonomía de 3 horas, necesitamos un reservatorio para 27 kg de carbón u $0,027/0,23 = 0,117 \text{ m}^3$.

El depósito puede aún, en algunos casos, ser envuelto por una camisa externa por donde pasarán los gases combustibles en dirección al motor.

Esto proporciona un cambio de calor gas - combustible sólido, enfriando el primer y precalentando y secando el segundo, aumentando, de cierta forma, el rendimiento global del proceso.

4.1.2. Equipos de purificación y Control.

El gas producido en el gasificador, antes de entrar en el motor, tiene que ser limpio y enfriado.

a) Limpieza del gas

Esta operación debe ser hecha antes del enfriamiento, pues las impurezas contenidas en el gas, forman incrustaciones en las paredes internas de los tubos del intercambiador de calor, perjudicando su eficiencia.

La separación de impurezas, tanto sólidas como líquidas son, preferencialmente, ejecutadas por medio de ciclones.

Un avance del eje de manivela se hace necesario.

Tests dinamométricos efectuados con adaptación de diversos motores existentes en el mercado, mostraron una pérdida de potencia, variando entre 15 y 25% para motores ligados a equipos agrícolas y funcionando con carbón vegetal (Fig. 4).

Figura 3 - Colector de polvo multiciclón

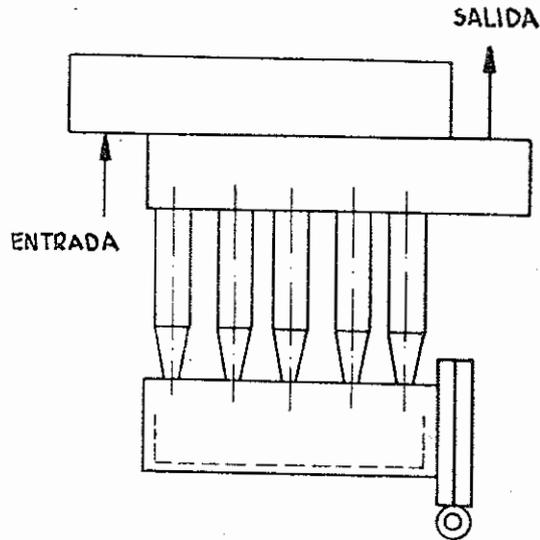
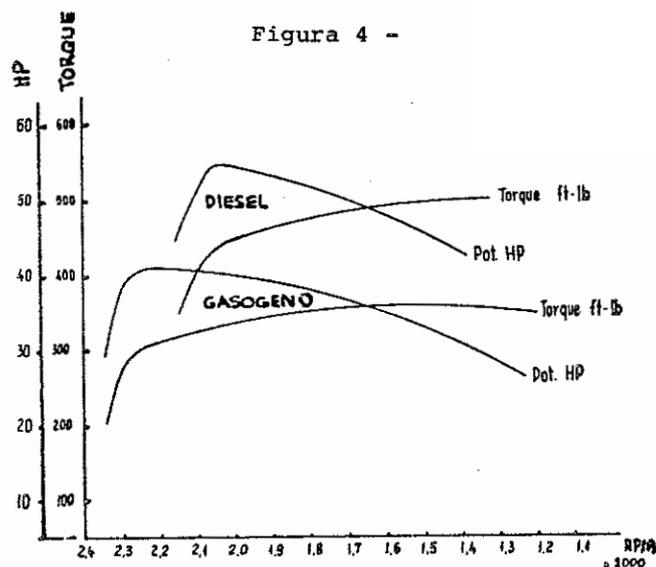


Figura 4 -



6. BIBLIOGRAFÍA

1. SICILLIANO, L.B. Gasogênio para automóveis e outros fins, 1945
2. _____ . Gasogênio, 1943
3. PERRY, J.H. Chemical engineer handbood, 4ª ed.
4. GÜLDNER, H. Motores de combustión interne 4 gasógenos
5. CETEC. Gaseificação da madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte, 1981. 1v. (Série de Publicações Técnicas, 4.)
6. ASSUNÇÃO, R.M.V. Gaseificação, gaseificadores de biomassa . ABACE, 1981
7. MILLAN, P.I. Sistemas de gaseificação. ABACE, 1981
8. IKEDA, S. Publicações do IPT, out. 1981

ASPECTOS ECONOMICOS DE LA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL

Gilson Celso Vaz de Melo Silveira*

1. Introducción.
2. Producción de carbón de bosque homogéneo.
3. Producción de carbón de bosque nativo.
4. Adquisición y transferencia de carbón en depósitos intermediarios.
5. Transporte del carbón.
6. Reacondicionamiento del carbón.
7. Recepción del carbón en la fábrica.
8. Conclusiones.

* Superintendente de Comercialización de Carbón de la Florestal Acesita S.A.

I. INTRODUCCIÓN

La mayor parte del carbón vegetal producido y consumido actualmente en el país, proviene de forestas nativas.

Por tratarse de una actividad nómada y primitiva, utilizando material lenoso heterogéneo, esta exploración impide la introducción y el desarrollo de tecnología adecuada.

Con la implantación de forestas homogéneas, asociadas a las tecnologías de manejo forestal, se está procesando grandes alteraciones en el programa actual.

La utilización de carbón vegetal como combustible sólido, podrá representar gran potencial energético para el país.

Basta decir que la plantación de 12 millones de hectáreas de forestas homogéneas de eucaliptos, técnicamente manejada, está en condiciones de suplir 40% de las necesidades de la energía del país, provista para 1986.

Con el agotamiento del petróleo, los países productores de carbón (USA, URSS y CHINA) deberán volver al mercado interno, transformándolo en un mineral extremadamente estratégico.

Brasil podrá absorber los efectos de esa situación, reprogramando su actual política de consumo de tecnología y materia prima importada, optando por su producto nacional abundante, o sea, el carbón vegetal con tecnología plenamente dominada, garantía total de abastecimiento, previsión de precios, flexibilidad de escala y con grandes reflejos sociales, el carbón vegetal es hoy una opción para la siderúrgica nacional.

El presente trabajo tiene como objetivo la presentación de los Aspectos Económicos de la producción del carbón vegetal en Forestas Homogéneas y Nativas, así como los datos relativos a la comercialización, stocks en depósitos intermediarios, transporte, transferencia y la recepción del carbón en la Siderúrgica.

La producción del carbón se desarrolla en los siguientes sistemas operacionales.

2. PRODUCCIÓN DE CARBÓN DE BOSQUE HOMOGÉNEO

2.1. SISTEMA CONVENCIONAL - ÁREA ACCIDENTADA

Un sistema productivo convencional en área accidentada comprende una área de 2.000 a 3.000 ha, una o más baterías de 9 hornos centralizadas, a una distancia no superior a 10 km. del macizo que va ser explorado.

El sistema convencional es llamado así, por emplear métodos de trabajo bastante definidos, pues, vienen siendo perfeccionado hace varios años, a través de experimentos e investigaciones, con el objeto de aumentar el rendimiento tanto de mano de obra, como de máquinas y equipos.

La producción de carbón se desarrolla a través de las siguientes operaciones:

Corte de lenã - Es realizado manualmente, (hacha) o mecanicamente (motosierra), en los dos casos, después del derrumbamiento (direccionado) es realizado el desganchamiento y el corte de la lenã. La lenã recolectada es retirada del bosque para las carreteras o ferrocarriles, en un plazo máximo de 30 días, de manera de evitar daños a los brotes nacientes.

Acarreo indirecto de la lenã - Después del corte, la lenã es retirada del bosque para llevarla a la carretera o ferrocarril, a través de burros con alforjas, argollones, y bueyes con zorras. La elección del proceso está directamente conectado al tipo de lenã y a la topografía del área que se va explorar.

Transporte directo de la lenã - Si la topografía permite, deberá ser hecho el transporte directo para batería de hornos, pues, es el método que ofrece mejor resultado económico y elimina el acarreo. Esta operación es realizada por tractor y carreta, con carga manual.

Transporte indirecto para la batería - Después del período de secado en las carreteras o en los corta fuego (mínimo de 75 días) la lenã es transportada para la batería de hornos a través de tractor, carreteras o camiones. La carga y descarga, tanto de los camiones como de carretas, es realizado manualmente o mecánicamente.

Reserva - En épocas de lluvia, o de imprevistos, debe ser usado el stock de lenã depositada en la reserva, de modo de garantizar el abastecimiento de lenã a la batería. Esta operación es realizada tanto por animales de carga, como por carretas y tractores.

Transporte de la leña - El transporte es realizado a una distancia media de 300 m. con mulares (que lleven alforjas) tratando de retirar la leña desde la quebrada hasta el alto. Para la leña más pesada, son utilizados bueyes que arrastran las carretas. La leña más próxima de la batería de hornos, debe ser dejada para la época de lluvias.

Carbonización - La carbonización, de modo general, se procesa en hornos de quebrada o superficie, de 4 m. de diámetro, distante entre sí, de 100 a 200 m. colocados estratégicamente al pie de las quebradas. En cada mini huerta son utilizados nueve (9) hornos, los cuales son operados por un carbonero y un ayudante.

La protección del carbón contra la humedad es hecha a través de galpones rústicos, pudiendo ser el techo de lona plástica o cinc, su tamaño ideal es de 30 a 50 m². cada horno tiene su frente de corte y su stock de leña en el bosque, para 90 días.

Carguío del carbón - La carga del carbón es realizada totalmente a mano con horquetas y canastos. En virtud de la descentralización de los hornos, el tiempo de carga es mayor que en las baterías centralizadas.

2.3. SISTEMA CONVENCIONAL - ÁREA PLANA

La plantación de bosques en áreas planas, en el sistema de áreas con carreteras y corta fuego, propició rediseñar el sistema de producción en el área accidentada, de manera a obtener las ganancias de productividad que la topografía nos ofrece. El sistema objetivo de reducción de los costos a través de la utilización de mano de obra intensiva, en substitución de las máquinas y equipos.

Una unidad convencional en área plana, debe contener de 1.000 a 1.200 ha. de bosques, con baterías de hornos centralizados y localizados estratégicamente, lo que permite un transporte de leña no superior a 5 km.. La producción, en este sistema, se desarrolla a través de las siguientes operaciones:

Corte de leña - La colecta, el desganchamiento y el fraccionamiento, son ejecutados manualmente con hacha, usando el proceso de direccionamiento, lo que facilita el carguío de la leña para la batería de hornos.

Transporte directo - Después del período de secado (90 días), la leña es transportada directamente para la batería de hornos, a través de camiones con carrocería, con carga y descarga manual.

Carbonización - En la carbonización son utilizados hornos de superficie, con 5 m. de diámetro y 2 m. de altura con producción media de 22 m³/por horneada.

Una batería de 9 hornos es manejada por los carboneros y un (1) ayudante, los cuales se encargan de la carga y descarga de un horno, todos los días, además de vigilar la carbonización y efectuar la limpieza de la batería.

Carguío - El carguío del carbón está directamente unido al tipo de transporte a ser utilizado, los camiones, jaulas, de modo general, son cargados con palas cargadoras y el carbón ensacado, a través del sistema manual.

de los diversos sistemas , retratan la experiencia de nuestra empresa. La elección del sistema a ser aplicado está directamente relacionado a las condiciones topográficas y de la disponibilidad de mano de obra.

La presentación de los costos, de los diversos sistemas utilizados, están en los siguientes parámetros:

Las cantidades (st o m³) para las diversas operaciones, son fruto de nuestra experiencia y representan una media de los diversos locales, donde la empresa aplica el sistema.

Los índices de productividad, tanto para mano de obra como para máquinas y equipos, reflejan la media de las variaciones presentadas.

Para el costo horario de la mano de obra, consideramos:

$$\frac{(\text{Salario medio de agosto/83}) \times 1,45}{\text{Horas efectivas trabajadas mensuales (= 170 horas)}} = \text{Cr\$ / hora}$$

El índice de 1,45 representa las leyes sociales pagadas por la empresa.

Como costo horario de máquinas, equipos, camiones, implementos y animales, utilizamos la media de los costos verificados en julio y agosto de 1983.

Consideramos intereses de 6% al mes sobre el período de secado de la leña, desde el corte hasta la carbonización y carguío, o sea 90 días.

Como impuesto e interés tenemos:

FUNRURAL E Impuesto Forestal. El FUNRURAL se calcula en 2,5% sobre el valor de pauta de 1977, corregidos anualmente por el UPF MG multiplicado por el total de leña transportada.

El interés Forestal es calculado como 0,49% sobre la UPF MG por m³ de carbón producido y recogido con 50% de reducción, a través de beneficio fiscal.

El costo de la leña es obtenido a través del interés del retorno sobre la inversión. En el cálculo, son tomados en consideración los costos de: implantación de la Foresta, mantenciones, maduraciones y regeneraciones; a parte del número de cortes y redimiento en volumen por ha/año.

En los costos de producción debemos considerar los gastos del personal y material necesario a la actividad de soporte técnico-administrativo, directamente unido a la producción, transporte de personal y materiales, equipos de seguridad, asistencia social, infraestructura, a las cuales llamamos costos indirectos específicos.

Como costo indirecto general, debemos agregar los gastos administrativos y financieros de materiales y de personal, necesarios a la administración general de las actividades desarrolladas por una empresa, a través de sus órganos, más aquellas desarrolladas en el sentido de investigaciones, en la mayoría de los procesos productivos.

2.6.2

Composición de la matriz de costo de producción - Sistema mini-huerta Área accidentada

Para 1.000 m³ (Base AGO/83)

Items para composición de costos Operaciones	U N D	Cant.	Indice de productividad		Costo horario		Costo parcial		Costo total Cr\$/h
			H/h/und	Eq/h/und	Mano de obra Cr\$/h	Maq/ Equip. Cr\$/h	Mano de obra Cr\$/h	Maq./ Equip. Cr\$/h	
			(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	AxBxC (F)	
Colecta manual	st	1442	1,43	-	605	-	1.247.546	-	1.247.546
Colecta mecánica	st	618	-	0,54	-	1.836	-	612.710	612.710
Acarreo c/ mulares	st	1480	1,06	2,12	605	85	949.124	266.696	1.215.820
Acarreo c/ bovinos	st	370	0,77	1,54	605	101	172.365	57.550	229.915
Carbonización	m3	1000	1,43	-	775	-	1.108.250	-	1.108.250
Depreciación de hornos	m3	1000	-	-	-	-	-	-	260.405
Intereses s/ secado de leña	st	2060	-	-	-	-	-	-	412.033
Impuesto forestal	m3	1000	-	-	-	-	-	-	23.000
Funrural	st	1850	-	-	-	-	-	-	31.450
Quiebra en la descarga hornos 5%	-	-	-	-	-	-	-	-	257.056
Carguío manual	m3	1000	0,48	-	605	-	290.400	-	290.400
Quiebra cargamento 4%	-	-	-	-	-	-	-	-	227.543
Costo ind. específico 14%	-	-	-	-	-	-	-	-	828.258
Costo ind. general 10%	-	-	-	-	-	-	-	-	674.439
Transp. p/usina 300 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	2.160.000
Reacondicionam en el transp. 4%	-	-	-	-	-	-	-	-	383.153
Leña	st	2060	-	-	-	-	-	-	2.861.340
T O T A L	-	-	-	-	-	-	-	-	12.823.318

Cambio: C.\$650.00/US\$

264.

Composición de la matriz de costo de producción - Sistema Mini-huerta Área plana

Para 1.000 m³ (Base AGO/83)

Items para composición de costos Operaciones	U N D	Cant.	Indice de productividad		Costo horario		Costo parcial		Costo total Cr\$
			H/h/und	Eq/h/und	Mano de obra	Maq./Equip.	Mano de obra	Maq./Equip.	
					Cr\$/h	Cr\$/h	Cr\$	Cr\$	
			(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	AxBxC (F)	
Colecta manual	st	2200	0,85	-	605	-	1.131.350	-	1.351.350
Transp. directo c/ camión	st	1920	0,57	0,12	605	1.614	662.112	371.866	1.033.978
Carbonización	m3	1000	1,03	-	775	-	798.250	-	798.250
Depreciación de hornos	m3	1000	-	-	-	-	-	-	309.075
Intereses s/ secado de leña	st	2200	-	-	-	-	-	-	440.035
Impuesto forestal	m3	1000	-	-	-	-	-	-	23.000
Funrural	st	1920	-	-	-	-	-	-	32.640
Quiebra en la desc. hornos 5%	-	-	-	-	-	-	-	-	188.416
Carguío manual	m3	1000	0,48	-	605	-	-	-	290.400
Quiebra en el carguío 4%	-	-	-	-	-	-	-	-	169.886
Costo ind. específico 14%	-	-	-	-	-	-	-	-	618.384
Costo ind. general 10%	-	-	-	-	-	-	-	-	503.541
Transp. p/ fábrica 300 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	2.160.000
Reacondicionam. en el transp. 4%	-	-	-	-	-	-	-	-	307.958
Leña	st	2200	-	-	-	-	-	-	3.055.800
T O T A L	-	-	-	-	-	-	-	-	11.062.713

Cambio: C.\$650.00/US\$

3. PRODUCCION DE CARBON EN BOSQUE NATIVO

La producción de carbón en bosque nativo se desarrolló siempre frente a los programas de expansión tanto en la pecuaria como en la agricultura.

Los productores pueden ser divididos, según su producción mensual, en:

- Pequeños - hasta 200 m³/mes
- Medianos - de 201 a 500 m³/mes
- Grandes - sobre 501 m³/mes

Para los pequeños y medianos productores, de modo general, la producción se realiza, prácticamente, sin ningún tipo de mecanización.

La recolección de la leña es hecha con hacha, con padrón de productividad variando entre: 5 a 8 st/hombre/día.

El transporte de la leña para la batería es hecha por medio de burros, carretones traccionados por yunta de bueyes, en distancias hasta 1.000 m. aproximadamente.

La carbonización, de modo general, es realizada en hornos de superficie, sin chimeneas, de 3,20 de diámetro con una producción variando de 12 a 15 m³/mes por horno.

La conversión leña carbón deberá cambiar entre 3,8 a 4,2 st para 1 m³ de carbón.

El período de carbonización medio es de 7 días, o sea: 3 días para carbonización, 3 días para enfriamiento, y 1 día para carga y descarga.

La vida útil del horno no sobrepasa 20 meses, lo que caracteriza la actividad, pues el horno acompaña el frente de corte.

La carga del carbón es hecha, manualmente, en sacos.

Como resultado estadístico realizado en agosto del 83, tenemos la siguiente composición media de costos, de carbón de bosque nativo.

4. ADQUISICIÓN Y TRANSFERENCIA DE CARBÓN EN DEPÓSITO INTERMEDIARIO

La compra de carbón en depósito intermediario tiene, como objetivo principal, regular el abastecimiento a la fábrica, principalmente en época de falta de producto en el mercado, debido a la interrupción de carreteras y también en épocas de lluvia.

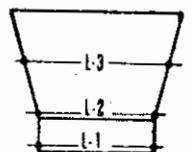
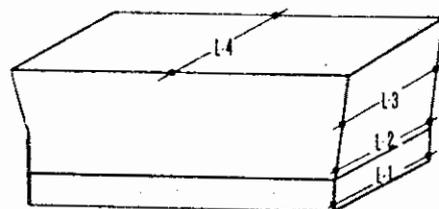
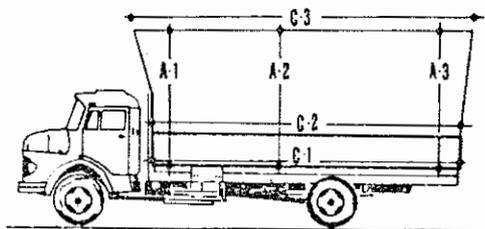
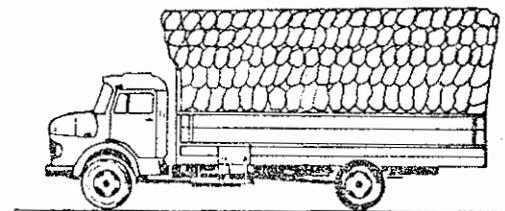
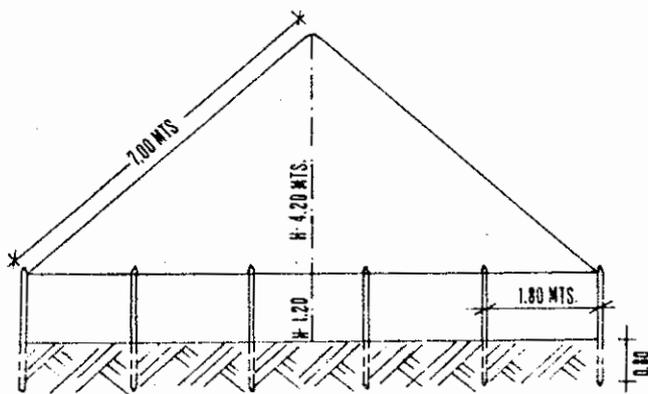
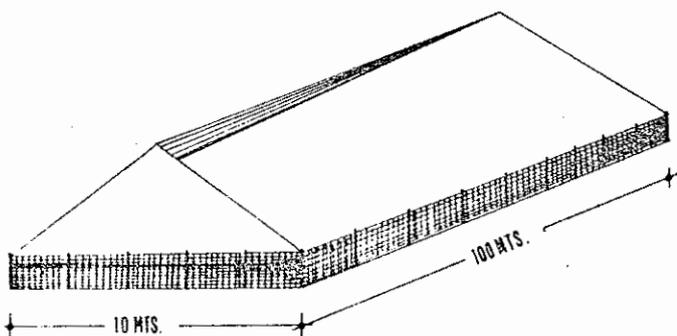
Los depósitos deberán ser localizados próximo a las carreteras o de ferrocarriles, o donde haya posibilidades de infraestructura.

Las empalizadas para el stock de carbón deberán ser de 10 m. de ancho y, de largo, variando entre 50 y 100 m.

El carbón debe ser almacenado con una altura máxima de 4,20m, con cubierta de lona plástica.

El drenaje pluvial entre las palizadas y la distribución de agua para el combate de incendio, es de gran importancia en el almacenamiento.

El carbón es adquirido por el volumen cubicado, tanto en sacos como en jaulas o en metros cúbicos, propiamente tal.



ANCHOS: $\frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4} = L$

LARGOS: $\frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = C$

ALTURAS: $\frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = A$

VOLUMEN: $L \times C \times A = X (m^3)$

4.1. EVOLUÇÃO DE LOS PRECIOS DE CARBÓN NATIVO

La evolución de los precios de carbón , en la región de Sete Lagoas, en los años de 1979 a 1983 , podemos verificar, conforme al cuadro 4.1.1., lo siguiente:

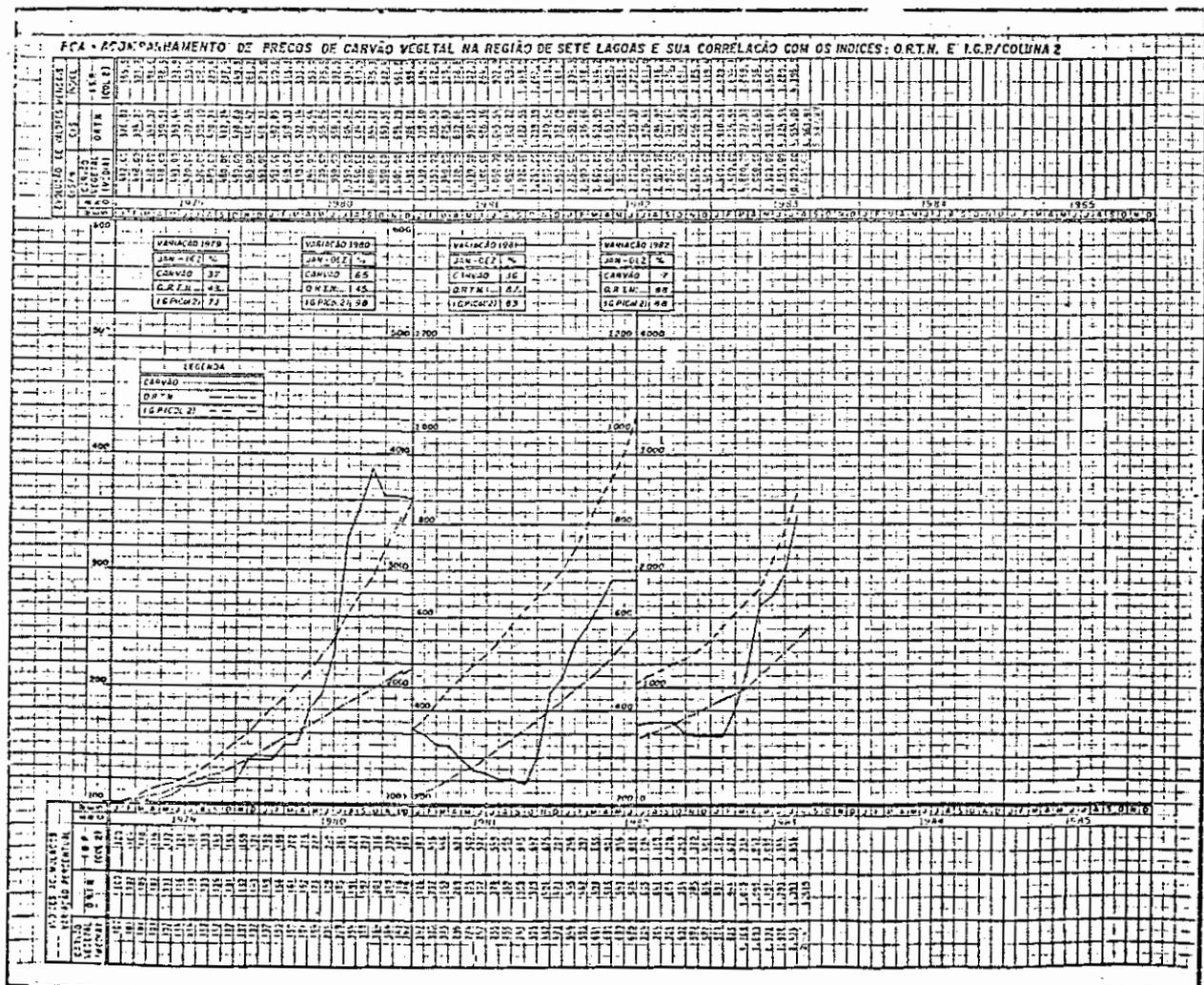
Tomando como base enero de 1979 = 100, observamos que, en diciembre del mismo año, el carbón subió 37%, en cuanto que la ORTN y el IGP, los productores pasaron a trabajar con perjuicio , generando reducción en la oferta, y consecuentemente el alza de los mismos , en 1980. En función de estos precios atractivos, al de 1980, o sea encima de la ORTN y IGP, los abastecedores retomaron la producción generando una mayor oferta de carbón.

En los primeros meses de 1981, los precios empezaram a caer, alcanzando en septiembre del mismo año, los niveles de junio de 1980.

A partir de ahí, la historia se repite o sea, los precios iniciam una subida, habiendo sobrepasado en julio de 1982 a la ORTN , y sólo no alcanzaron los niveles del IGP debido a que el consumo de carbón permaneció más o menos estable, ya que el fierro fundido no reaccionó en el mercado.

A partir de febrero de 1983, con la reactivación del parque siderúrgico, debido a la exportación, los precios ya subían sobre el de la ORTN y estaban muy próximos del IGP.

4.1.1.



En la transferencia del carbón de los depósitos intermediarios para la fábrica, son utilizados ferrocarriles y carreteras. En el ferrocarril, son usados los vagones GPD para 75 m³, HAC e VGG para 100 m³. En la transferencia por carreteras, son usados camiones o acoplados con carga a granel en torno de 50 a 90 m³.

Los costos medios por m³, en el transporte, a través de vagones, son los siguientes:

Distancia en Km	Tipo de vagones		CR\$/m ³
	HAC	GPD	VGG
100	1.780		1.140
200	2.770		1.750
300	3.610		2.360
400	4.550		2.980
500	5.390		3.500

Cambio: C. \$650.00/US \$

Base agosto de 1983

7. RECEPCIÓN DEL CARBÓN EN LA FÁBRICA

El carbón oriundo tanto de producción propia como de terceros, es entregado en la fábrica en vagones, camiones o acoplados, en sacos o a granel.

La recepción se procesa a través de la medición (cubicación) con el objeto de controlar el stock, los índices de reacondicionamiento en el transporte, y para evitar posibles desvíos en el transporte.

Después de la medición, los vehículos o vagones, son conducidos a los silos para la descarga, debe tenerse cuidado de no elevar su stock rápidamente, para evitar los incendios.

Tanto los camiones como los acoplados de sacos, son descargados manualmente, por cuatro hombres, con un índice medio de productividad de 0,067 H/h/m³.

Los camiones o acoplados de jaula (a granel) son descargados mecánicamente en sistema elevación (Truck Dumper), con tiempo medio de 12 minutos.

La descarga de los vagones GPD es realizada 30% mecánicamente y 70% manual, con cinco hombres, con índice medio de productividad de 0,10 H/h/m³.

Los vagones HAC y VGG son descargados mecánicamente.

Durante la descarga del carbón es recogida una muestra, para determinar su calidad en términos de: carbón fijo, granulometría, (fracción gruesa y fina) y humedad.

Los items de carbón fijo y de granulometría, son de gran importancia, sin embargo el mayor problema reside en la humedad del carbón, por ser un factor de gran importancia en la conducción del alto horno. Con el fin de reducir el porcentaje de humedad, se acostumbra cubrir el carbón en las carboneras, en los camiones y vagones, durante el transporte.

8. CONCLUSIONES

La producción de carbón en bosque homogéneo, como fue demostrada en los diversos sistemas de producción, puede ser desarrollada de acuerdo con la topografía, de manera a obtener mejor resultado económico.

En la comparación de la trayectoria de los diversos sistemas presentados, observamos que las de área accidentada son de costos más elevados, y esto se debe a las dificultades encontradas en el corte de la leña, en la manipulación y el transporte.

Confrontando los sistemas en ÁREA ACCIDENTADA, podemos observar que el costo de las operaciones, transporte, carbonización y carguío del carbón en el sistema mini huerta, es menor en 19%.

El aumento de 4% en los costos indirectos específicos de la mini huerta, se debe a las dificultades en la administración, debido a sus características descentralizadas, como batería de hornos y frentes de corte.

El costo total de mini huerta es 10% menor que el del convencional. Los resultados favorables que la mini huerta nos presenta, todavía no nos autoriza a utilizarlo en perjuicio del convencional, pues, pasaron tres años solamente, desde su introducción.

En el análisis de costo de los sistemas en ÁREA PLANA, observamos que el costo de la operación de corte, es el mismo para los tres sistemas. El costo total del sistema convencional es 3% más bajo que el mini huerta y 11% que la micro huerta. El aumento de costo de la mini huerta, en relación al convencional, se debe al sistema de carguío de carbón y la mayor dificultad para ejecutar su administración, lo que hace subir los costos indirectos específicos en media de 4%, en relación al convencional.

En la micro huerta el aumento de costo en relación al convencional, se debe al sistema del transporte de la leña (carretera con burros), y a la complejidad de su administración, o sea, en media de 6% más en los costos indirectos específicos, en relación al sistema convencional, y también, en el sistema de carguío del carbón (hornos descentralizados).

La utilización de los diversos sistemas en área plana, se justifican, hasta el momento, pues, nuestra experiencia todavía es pequeña para decidirnos por el uso del convencional, en perjuicio de las mini huertas y de las micro huertas.

Una de las principales conclusiones, en cuanto a la mini y micro

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE HORNOS DE CARBONIZACIÓN

Aluisio Marri*

Joffre Batista de Oliveira*

Marcelo Guimarães Mendes*

Paulo Aguinélio Gomes*

1. Introducción.
2. Horno Media Naranja.
3. Horno de Barranco.
4. Horno de Albañilería.
5. Horno de Albañilería con
Cámara Externa.

* Investigador de la Fundação Centro
Tecnológico de Minas Gerais/CETEC.

1. INTRODUCCION

La carbonización consiste en la transformación de la madera en carbón por la acción del calor y en presencia de cantidades controladas de oxígeno.

Bajo la acción del calor, el agua contenida en la madera se desprende en forma de vapor de agua, ocurriendo lo mismo con líquidos orgánicos y gases no condensables, quedando como residuo el carbón.

La carbonización de la madera es hecha en los hornos de carboneamiento, esto es, hornos apropiados, construídos en albañilería, en el interior de los cuales es apilada la madera que va a ser carbonizada.

Son varios los tipos de hornos existentes, siendo los más comunes los hornos de superficie convencionales y los de superficie con cámara de combustión.

En el caso de hornos convencionales el calor necesario, para la transformación de la leña en carbón, es obtenido por la quema de parte de la leña colocada en el horno, mientras que en los hornos con cámara, el calor es producido por la quema, en la cámara, de leña o residuos forestales.

Como el proceso es discontinuo, esto es, los hornos son enfriados para que el carbón sea descargado, a cada carbonización el calor producido por la quema de parte de la carga es utilizado para calentar el horno, secar la leña y procesar la carbonización propiamente dicha.

De los diversos tipos de hornos existentes se eligió, por describir en este Manual, cuatro de ellos: el Horno Media Naranja el Horno de Barranco, el Horno de Superficie, y el Horno de Superficie con Cámara Externa. La principal razón para esta opción es que todo el carbón consumido en el Estado es producido en esos hornos.

El Horno Media Naranja, por su simplicidad constructiva y bajo costo, es de los más difundidos entre los pequeños productores, al lado del Horno de Barranco cuya utilización depende, en parte, de condiciones topográficas favorables.

El Horno de Superficie, definido en este Manual, es más utilizado por los grandes productores de carbón vegetal y el Horno de Superficie con Cámara Externa además de constituir un marco en la evolución reciente de los hornos de carboneamiento, viene siendo cada vez más utilizado por los grandes productores de carbón.

2. HORNO MEDIA NARANJA

Es el más barato, de construcción más simple y, posiblemente, el más difundido de los hornos de carbonización.

El Horno Media Naranja tiene el aspecto mostrado en la figura 1, pudiendo, entretanto, ser encontrados hornos con diferencias en la forma y en detalles constructivos. Su característica peculiar es la ausencia de chimeneas.

En las figuras 2a, 2b e 2c, son mostrados los diseños que orientarán la construcción del horno.

2.1. ELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO

El Horno Media Naranja, por su simplicidad constructiva y bajo costo, es recomendado para locales planos, que no necesiten de mucho trabajo de preparación de terreno. Caso contrario, la preparación podrá ser más cara que el propio horno.

Como, en general, no se construye sólo un horno sino que un conjunto de hornos o baterías, en la elección del local se debe tomar en cuenta el número total de hornos a ser construídos, además del área para almacenaje de leña y carbón.

El local debe:

- . ser plano
- . tener buenas condiciones para el escurrimiento del agua de lluvia;
- . ser de fácil acceso al tipo de transporte a ser utilizado para leña y carbón;
- . tener agua disponible.

Así, la única preparación necesaria es la nivelación del local donde serán construídos los hornos, lo que podrá ser hecho con herramientas manuales (pala, azadas etc.), sin mayores dificultades.

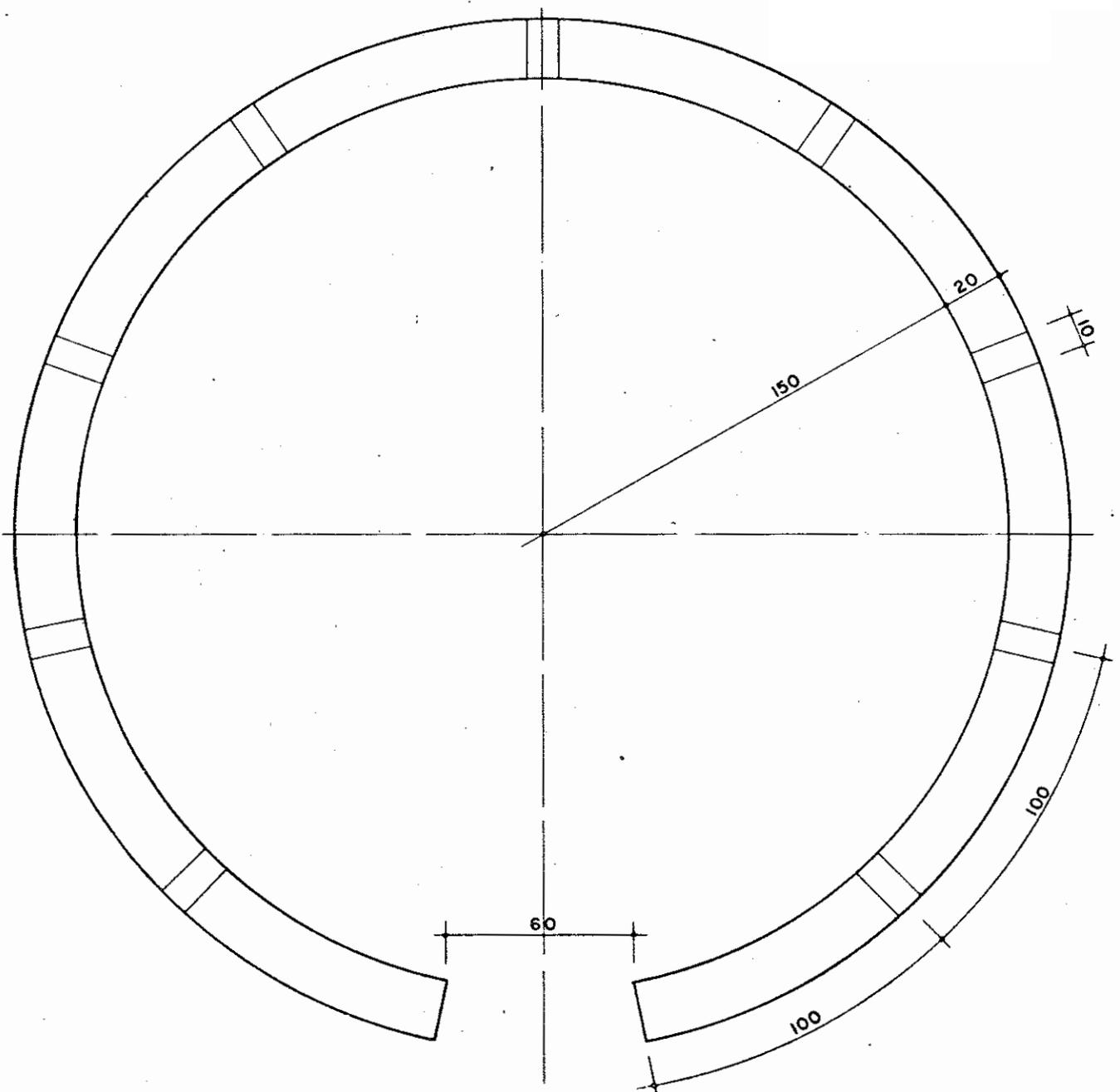
Cuidado importante deberá tener la construcción de la canaleta para el escurrimiento del agua de lluvia. Estas canaletas impiden que los hornos sean inundados y se recomienda su construcción al inicio de los trabajos, para evitar problemas durante la fase de construcción del horno.

2.2. MARCACIÓN DEL TERRENO

Después de nivelado el local donde será construído el horno, se hará la marcación de su base.

Figura 2a

Medidas básicas para
construcción de un Horno com
3,0 m. de diámetro



Obs.: Medidas en centímetros

Figura 2c

Vista superior del Horno

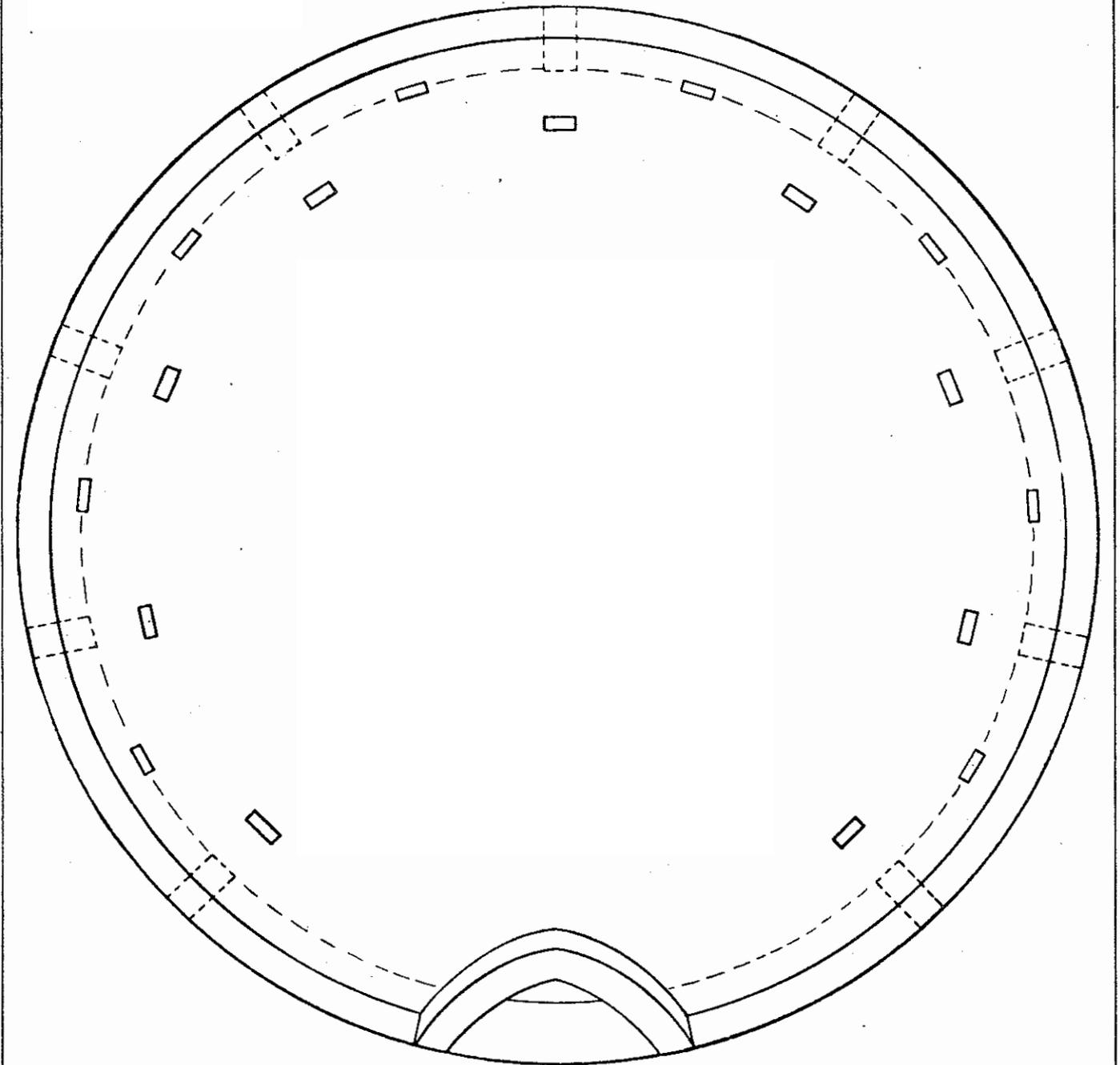
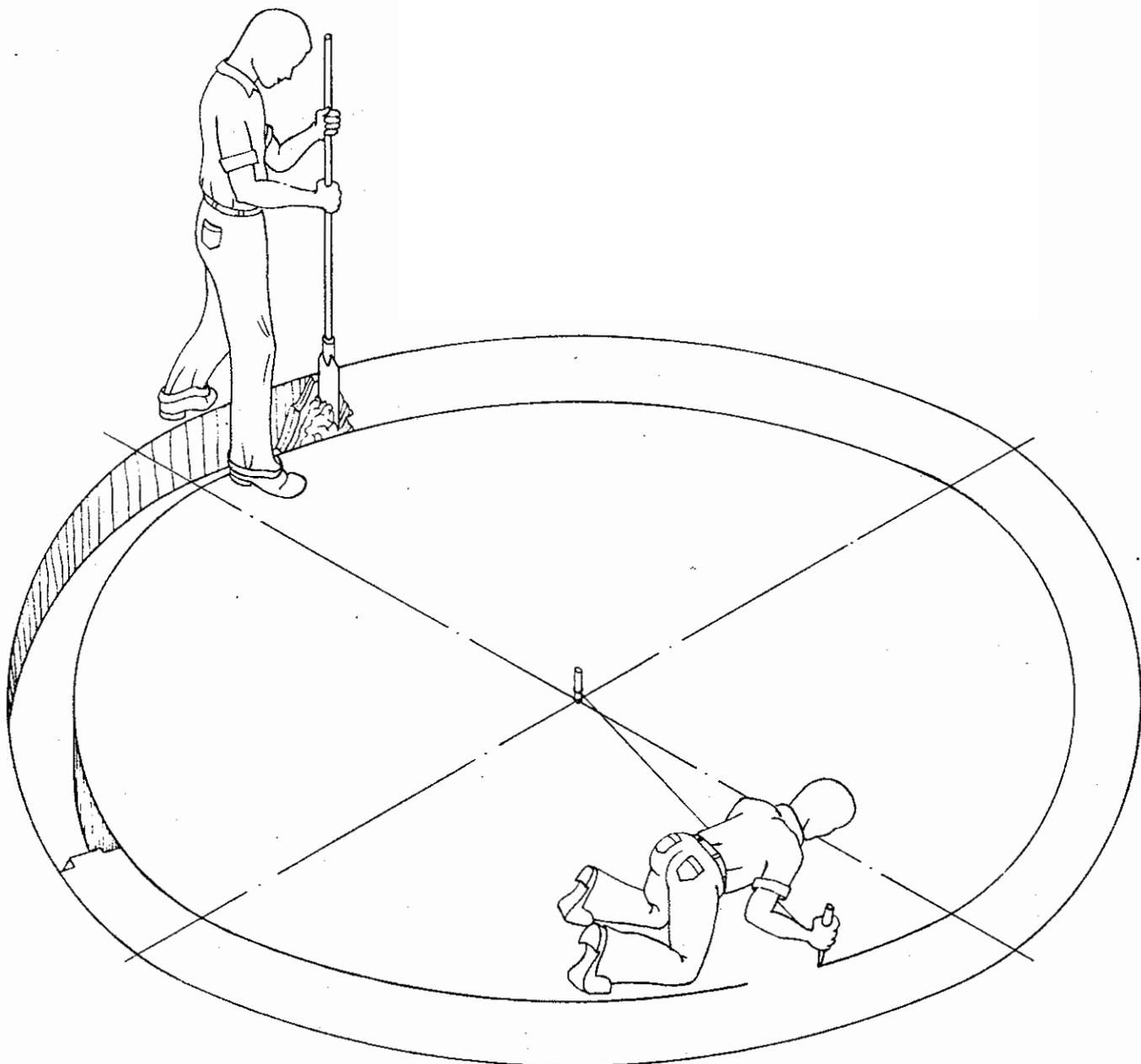


Figura 3

Marcación del terreno y
excavación de la base del
Horno



a través de orificios de 10 por 5 centímetros (equivalente a la sección transversal del ladrillo en uso) llamados "tatus", "filas" y "baianas".

Los "tatus" se localizan en la primera hilada de la pared, esto es, están nivelados con el piso del horno y son simplemente una falla de un ladrillo en esta hilada.

Los "tatus" son en número de 9 y están distribuidos conforme muestran las figuras 2a, 2b, 2c y 5.

Las figuras 5 y 7 muestran aún, la localización y la forma de la puerta del horno que tiene 60cm de anchura y altura de 1,60m.

La copa, que es la parte curva del horno, es construída con hiladas de medio ladrillo (cerca de 10cm de espesura). En la construcción de la copa la concha es alargada 1cm a cada hilada asentada, hasta la 40^a. A partir de este punto se acentúa la inclinación de la copa tornándola más "achatada", cerrando la parte superior con la forma característica del Horno Media Naranja. La figura 7 da una idea del proceso. Después de terminado, el horno tendrá una altura interna de cerca de 2,30m.

La argamasa a ser usada en el asentamiento de los ladrillos de la copa debe contener menos arena que aquella utilizada en la construcción de la pared. Una argamasa con menos arena dará más plasticidad, lo que facilitará el asentamiento de los ladrillos. Si la tierra disponible en el local contuviera un porcentaje natural de arena, cerca de 25%, la argamasa debe ser hecha con 25% de arena y 75% de tierra (3 partes de tierra para 1 de arena).

En relación a las cantidades de tierra y arena que componen la argamasa en las diversas fases de construcción del horno, debe ser observado que las recomendaciones arriba reflejan una situación ideal, esto es, disponibilidad de arena y conocimiento del porcentaje de arena en la tierra. En el caso de no disponer de estos datos, el horno podrá ser construído con una argamasa hecha con tierra y agua.

En el asentamiento de los ladrillos se debe tener el cuidado de utilizar la menor cantidad posible de argamasa, lo suficiente para proporcionar un buen ajustamiento de los ladrillos. El horno construído con poca argamasa tendrá menor cantidad de entradas de aire, será de manutención más fácil y tendrá mayor durabilidad.

En la copa están localizadas las "filas" y las "baianas" que, como los "tatus", tienen la función de ventilar el horno, esto es, permitir la entrada de aire y la salida de los humos.

Las "filas", en número de diez, son orificios de 10 x 5cm localizados en la 19^a hilada a partir del piso del horno y están intercaladas con los "tatus", conforme muestran las figuras 1 y 2b.

Las "baianas", en número de 7, están localizadas en la 40^a hilada a partir del piso del horno y están distribuídas conforme muestran las figuras 1 e 2b.

Figura 6
Detalle de un tipo de cercha
utilizado en la construcción
del Horno

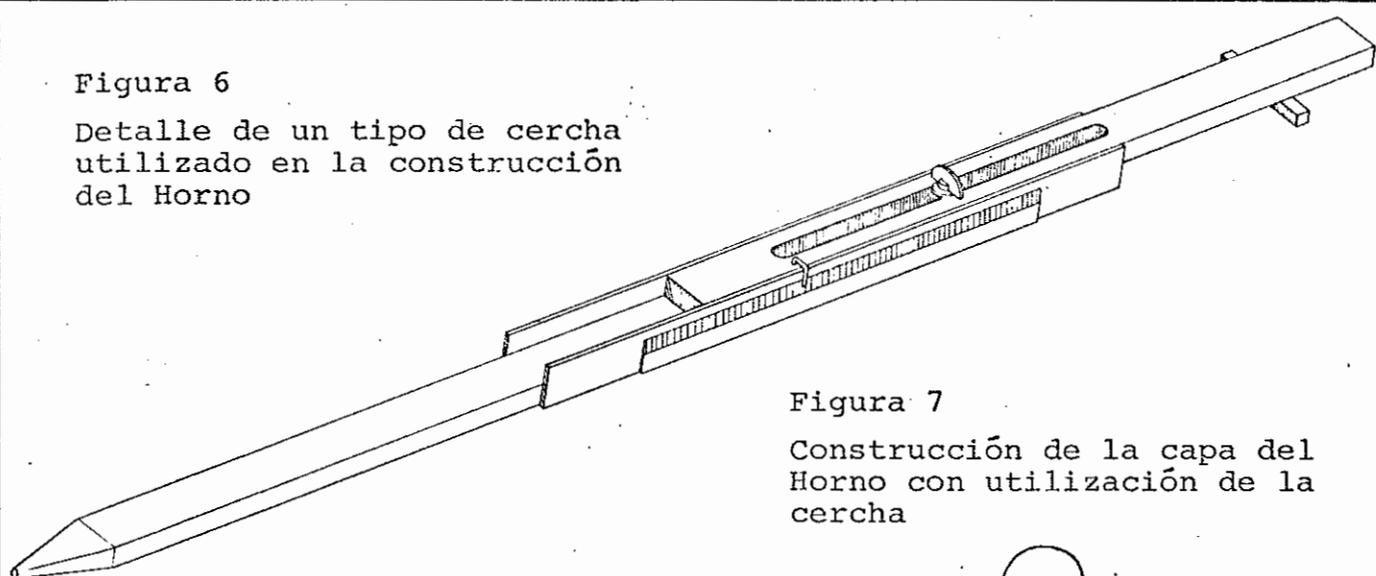
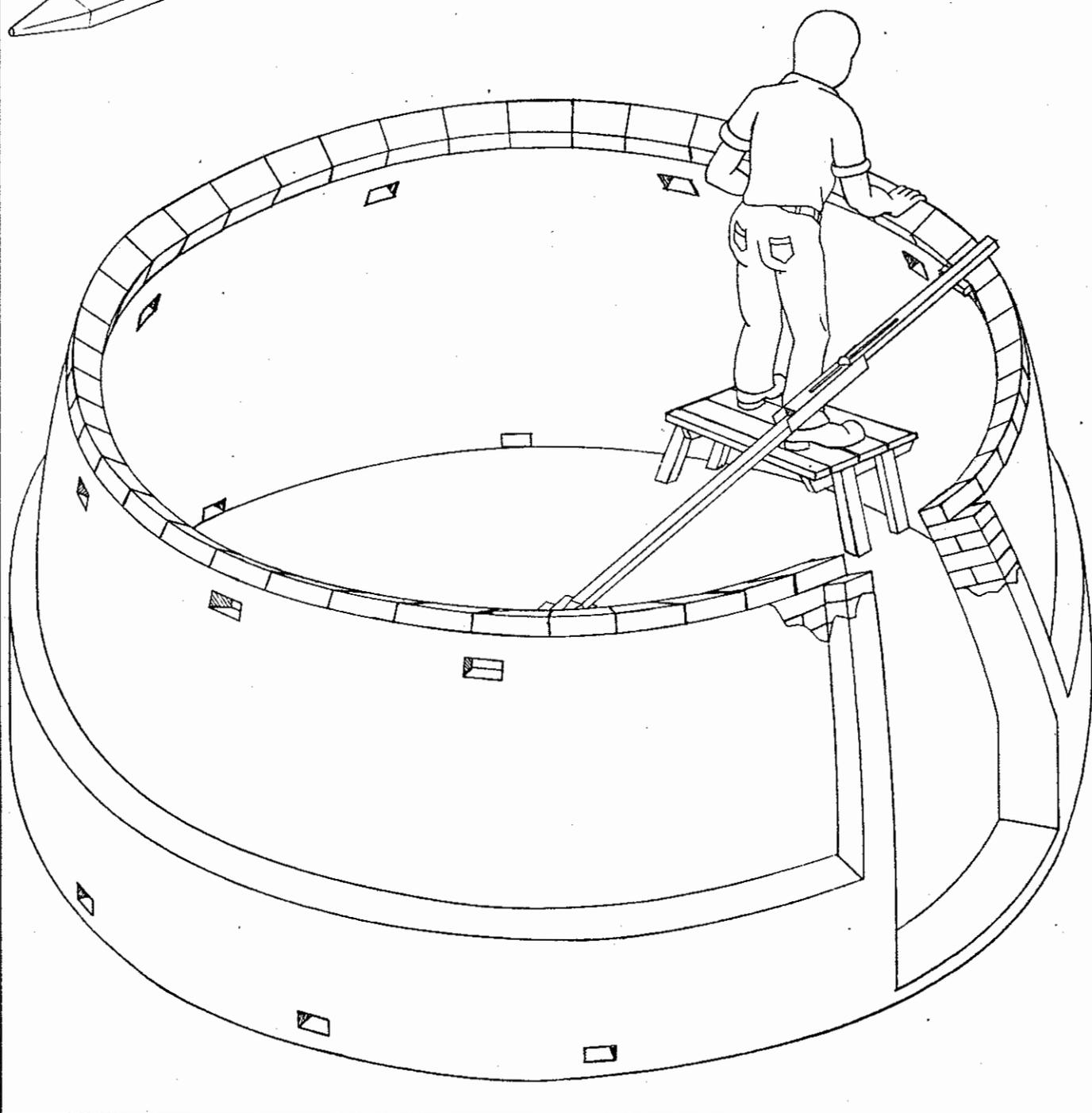


Figura 7
Construcción de la capa del
Horno con utilización de la
cercha



2.8. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Para construir un Horno Media Naranja con las mismas medidas del horno aquí descripto, son necesarios cerca de:

- . 3.000 ladrillos (20x10x5cm),
- . 1,0m³ de tierra
- . 1,5m³ de arena

La construcción de este horno no exige herramientas especiales, aparte de aquellas comúnmente utilizadas para trabajar la tierra y mezclar la argamasa, o sea: palas, azada, planas etc.

El piso del horno y la canaleta donde será asentada su base, pueden ser apisonados con un pisón de madera, mientras que el molde usado puede ser hecho en el local con cualquier material.

2.9. MANO DE OBRA

Estimase que, en condiciones normales de trabajo, la construcción de este tipo de horno consumirá cerca de 24 horas de trabajo de un albañil y 24 horas de un ayudante.

2.10. OPERACIÓN DEL HORNO

La operación del horno comprende su carga, ésto es, la colocación de la leña en su interior, la carbonización y la descarga del carbón.

La leña para carbón debe presentar ciertas calidades para que el rendimiento del proceso de carbonización y la calidad del carbón no sean perjudicados.

La utilización de leña seca es para que se tenga una buena carbonización, pues el porcentaje de humedad de la leña influye directamente en el rendimiento del horno.

El carguio del horno con leña mojada o verde, ésto es, que terminó de ser cortada, hace la carbonización más demorada y perjudica el rendimiento del horno, o sea, con leña mojada se obtiene menos carbón. Como ya fue visto, es la quema de parte de la leña cargada en el horno que proporciona el calor necesario para secar la leña, calentar el horno y transformar la leña en carbón. Cuanto mayor la humedad de la leña, más leña será quemada en el interior del horno y más bajo será el rendimiento.

Estudios realizados con leña de eucalipto indican que se obtiene una mayor cantidad de carbón cuando la leña se seca por un período de 3 a 4 meses.

El largo y el diámetro de los troncos de leña también influyen en el proceso de carbonización. Leña demasiado gruesa (diámetro arriba 25 centímetros) o demasiado larga (con más de 2 metros de largura), atrasa la carbonización pudiendo resultar en mayor cantidad de tizones (madera semicarbonizada), además de ser difícil de manejar y movimentar.

Características de la madera como la densidade, la cantidad de corteza y otras, también influyen en la carbonización y en la calidad del carbón.

La sonda es una asta de madera, una barra o caño, de largo suficiente para alcanzar el centro del horno, cuando es introducida por una "fila" o "tatu".

Si al introducir la sonda a través de una "fila" no hay resistencia a su penetración hasta el centro del horno, significa que el frente de carbonización ya alcanzó la región central. En este caso la "fila" debe ser cerrada con un pedazo de ladrillo asentado con argamasa.

La resistencia a la penetración de la sonda indica la existencia de madera no carbonizada o semicarbonizada (tizón). En este caso, cuando se nota la presencia de brasas en la región próxima a una "fila", pero la carbonización aún no alcanzó la región central del horno, "escoreáse" aquella "fila".

"Escorear un fila" significa reducir la entrada de aire tapándose su entrada con un pedazo de ladrillo, sin utilizar argamasa o lechada. Con esta providencia el frente de carbonización debe avanzar más lentamente, hasta que la región central del horno esté carbonizada, entoces se cierra totalmente la "fila" con la lechada.

El mismo procedimiento será repetido cuando el frente de carbonización alcance la región de los "tatus".

El humo se tornará azulado, la inspección visual indicará la presencia de brasas próximas al "tatu" y el sondaje determinará su "escoreamiento" o cierre. Este proceso puede no ser uniforme, ésto es, los "tatus" podrán ser cerrados en momentos diferentes.

Diversos factores pueden contribuir, en mayor o menor grado, para el desarrollo uniforme de la carbonización. Entre otros, pueden ser mencionados el carguo mal hecho del horno, la leña no uniforme tanto en tamaño como en humedad, y las condiciones climáticas como vientos fuertes y lluvias. Todos estos factores deben ser contrabalanceados por una vigilancia constante del horno reforzándose o cerrándose las "baianas" "filas" y "tatus" en la hora justa .

Después de cerrado todos los "tatus" el horno debe ser embarrado para impedir la entrada de aire en su interior durante el período de enfriamiento.

La descarga del carbón sólo debe ser iniciada después que el horno esté suficientemente frío.

La temperatura ideal para abrir el horno es de más o menos 60°C, lo que, en la práctica, es evaluado apoyándose la mano en la pared del horno y de la puerta. No se debe abrir un horno que no este lo suficientemente frío, pues la entrada de aire puede provocar el incendio del carbón

Antes de abrir el horno se debe limpiar el lugar dónde va a ser puesto el carbón y, por precaución, disponer de agua abundancia para el caso de un eventual incendio.

Se debe abrir rápidamente la puerta del horno y en caso de notarse algún punto de incendio, el carbonero debe abrir camino hasta aquel punto, apagándolo con agua.

TABLA II - ESPESURA DEL LADRILLO=6,0cm

Nº de Hiladas	Aumento en el Patrón
3	Sin aumento
3	0,5cm a cada hilada
4	1,0cm a cada hilada
4	1,5cm a cada hilada
8	2,0cm a cada hilada
4	2,5cm a cada hilada
6	2,0cm a cada hilada
4	1,5cm a cada hilada
3	1,0cm a cada hilada
3	0,5cm a cada hilada

Hacer las hiladas restantes sin aumento en el patrón.

TABLA III - ESPESURA DEL LADRILLO=7,0cm

Nº de Hiladas	Aumento en el Patrón
2	Sin aumento en el patrón
3	0,5cm a cada hilada
3	1,0cm a cada hilada
3	1,5cm a cada hilada
4	2,0cm a cada hilada
12	2,5cm a cada hilada
4	2,0cm a cada hilada
2	1,5cm a cada hilada
2	1,0cm a cada hilada
2	0,5cm a cada hilada

Hacer otras hiladas sin aumentar el patrón.

3. HORNO DE BARRANCO

La principal característica del Horno de Barranco es la de aprovechar el desnivel natural de terrenos accidentados. Para construirlo se corta el barranco con la forma circular, apoyándose la copa sobre el borde del terreno, que funciona como si fuera la pared del horno.

La figura 8 muestra el aspecto del Horno de Barranco que es descrito en este manual.

El Horno de Barranco, juntamente con el Horno de Media Naranja, es de los más difundidos, principalmente por su bajo costo de construcción, para lo que contribuye, fundamentalmente, el hecho de no tener paredes ("camisas") construídas en albañilería.

El Horno de Barranco descrito en este manual tiene 4,0m de diámetro, 1,20m de altura y la altura máxima interna de la copa es de 2,36m. Con esas dimensiones el horno tiene un volumen útil de aproximadamente 23m³.

Eligióse por describir un horno con 3 chimeneas lo que no significa una definición de horno de barranco, en la medida en que hay hornos de barranco con número diferente de chimeneas.

En las figuras 9 y 10 se muestran los dibujos que orientarán la construcción del horno.

3.1. ELECCIÓN Y PREPARACION DEL TERRENO

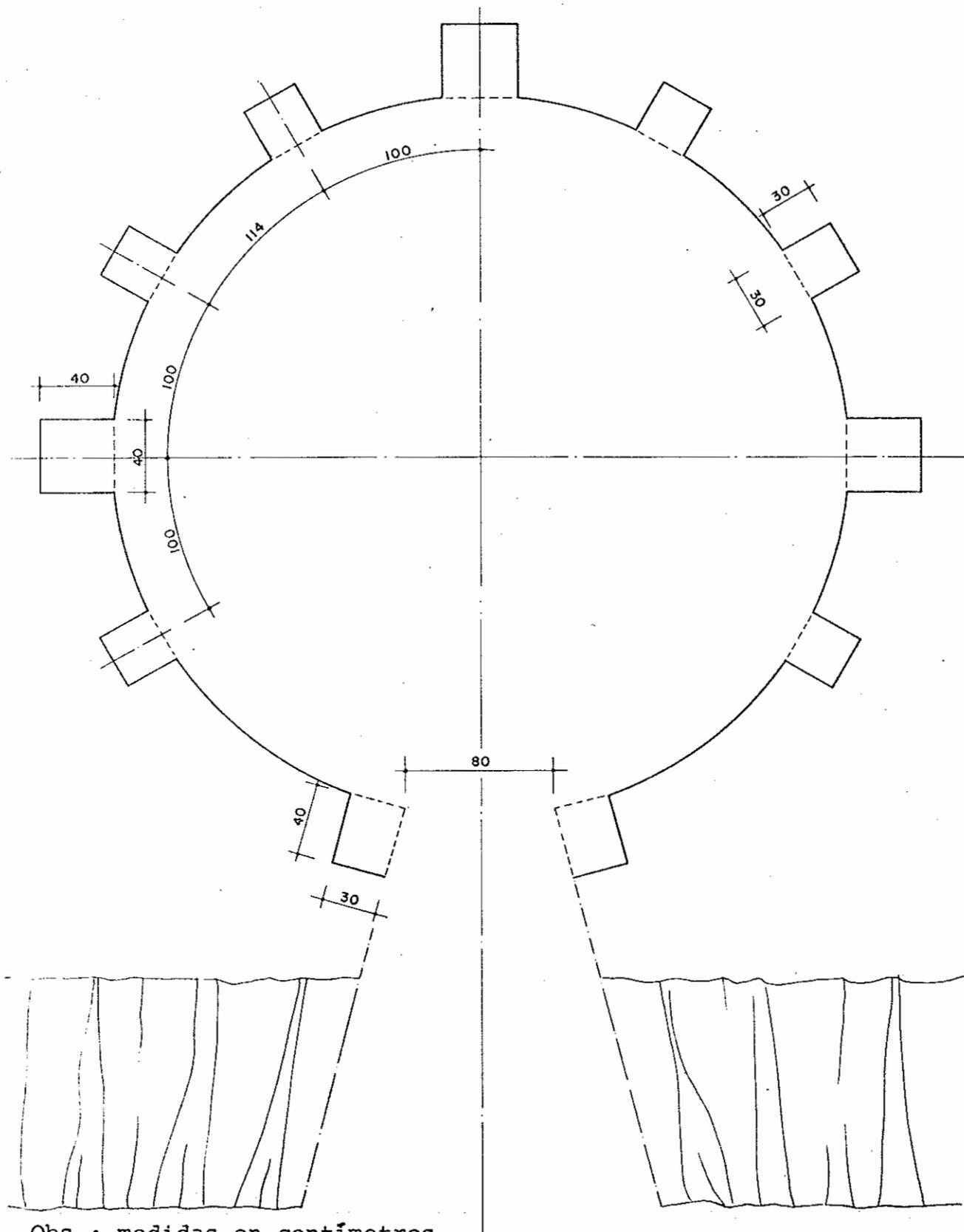
El aspecto principal en la elección del local para la construcción de un Horno de Barranco es la existencia de un barranco en terreno firme, con altura adecuada al tamaño del horno que se quiere construir.

Además de eso debe considerarse que, siendo cortado en el barranco y poseyendo sólo una puerta, el trabajo de carga y descarga de leña y carbón se dará en el área frente al horno, ésto es, en la parte más baja del terreno. Así, esta área debe ser amplia, lo suficiente para el almacenaje de leña, de carbón y para el movimiento de vehículos de transporte.

El local debe, aún, ser de fácil acceso al tipo de transporte, para carbón y leña, que va a ser utilizado, tener buenas condiciones para el escurrimiento de agua de lluvia, y tener disponibilidad de agua.

Figura 9

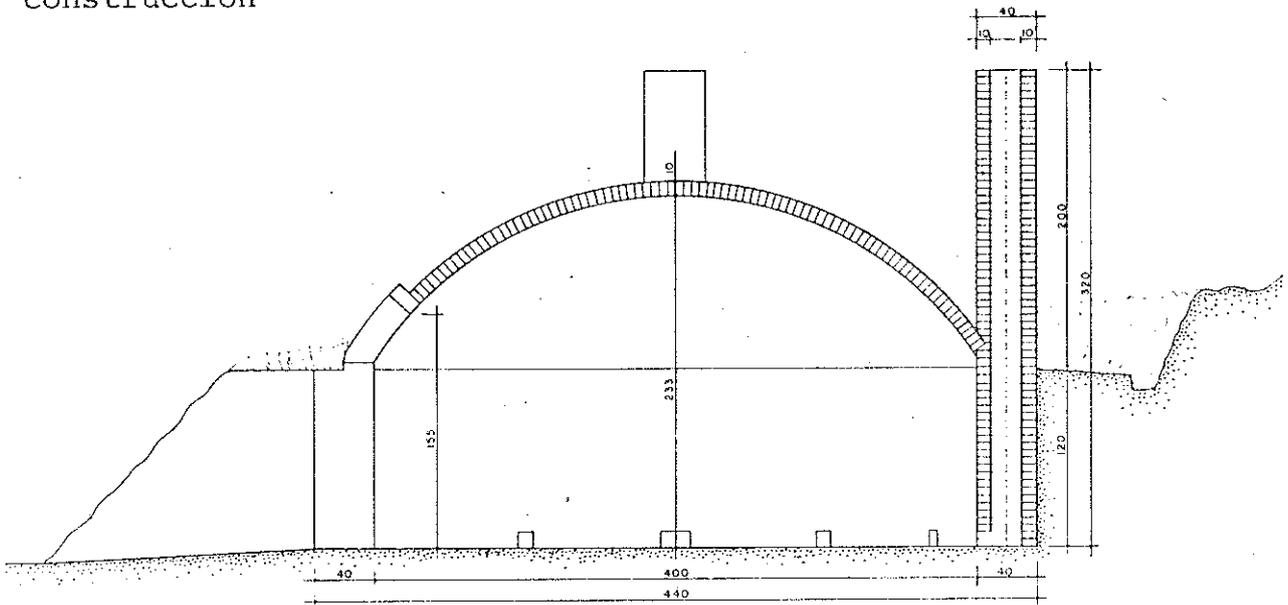
Medidas básicas de la marcación del terreno para construcción del Horno



Obs.: medidas en centímetros

Figura 10

Corte de un Horno con las medidas básicas para su construcción



Obs.: Medidas en centímetros

Figura 11

Marcación del terreno para construcción del Horno

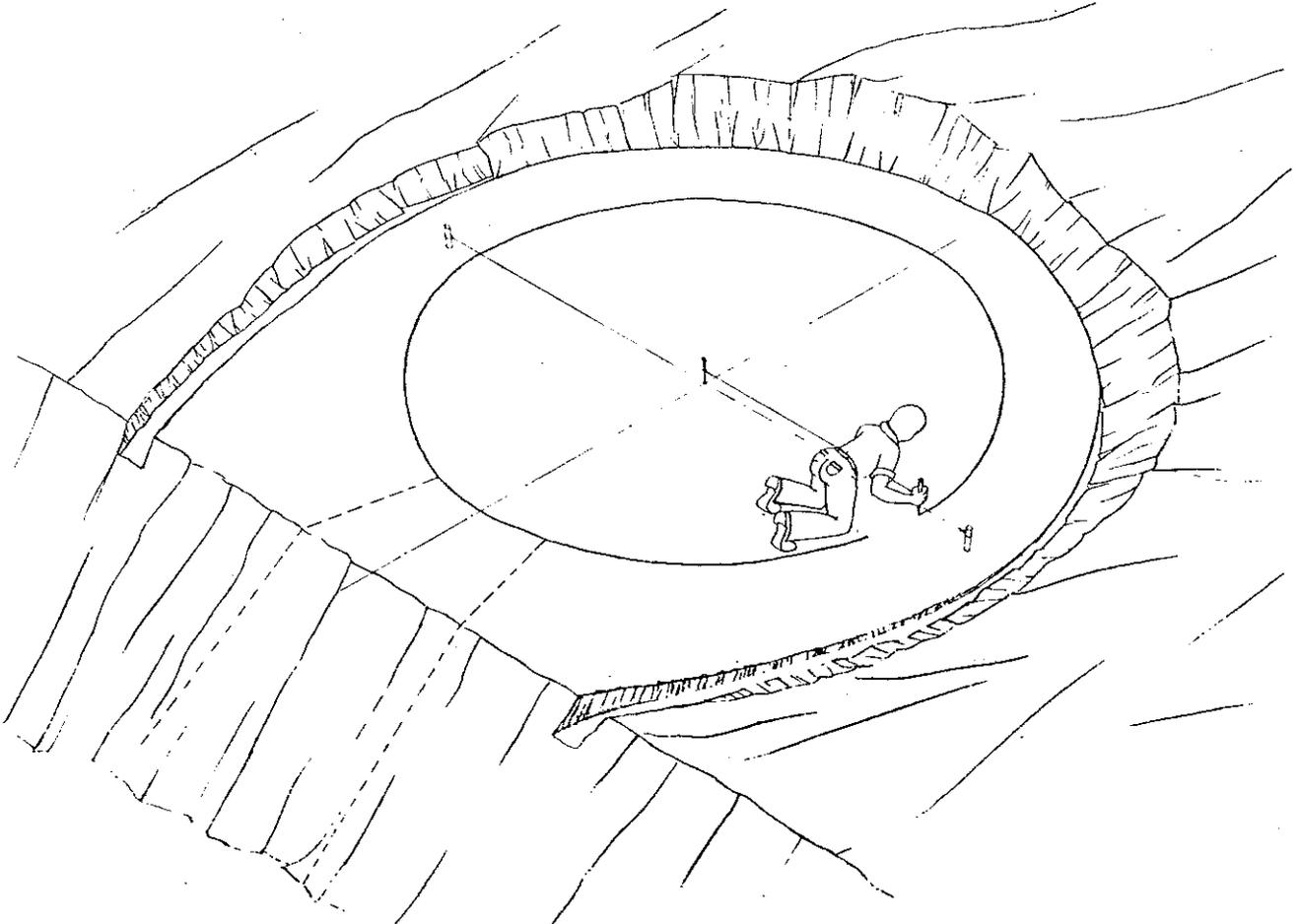


Figura 13

Aspecto del cuerpo del Horno y de los cortes para "tatus" y chimeneas

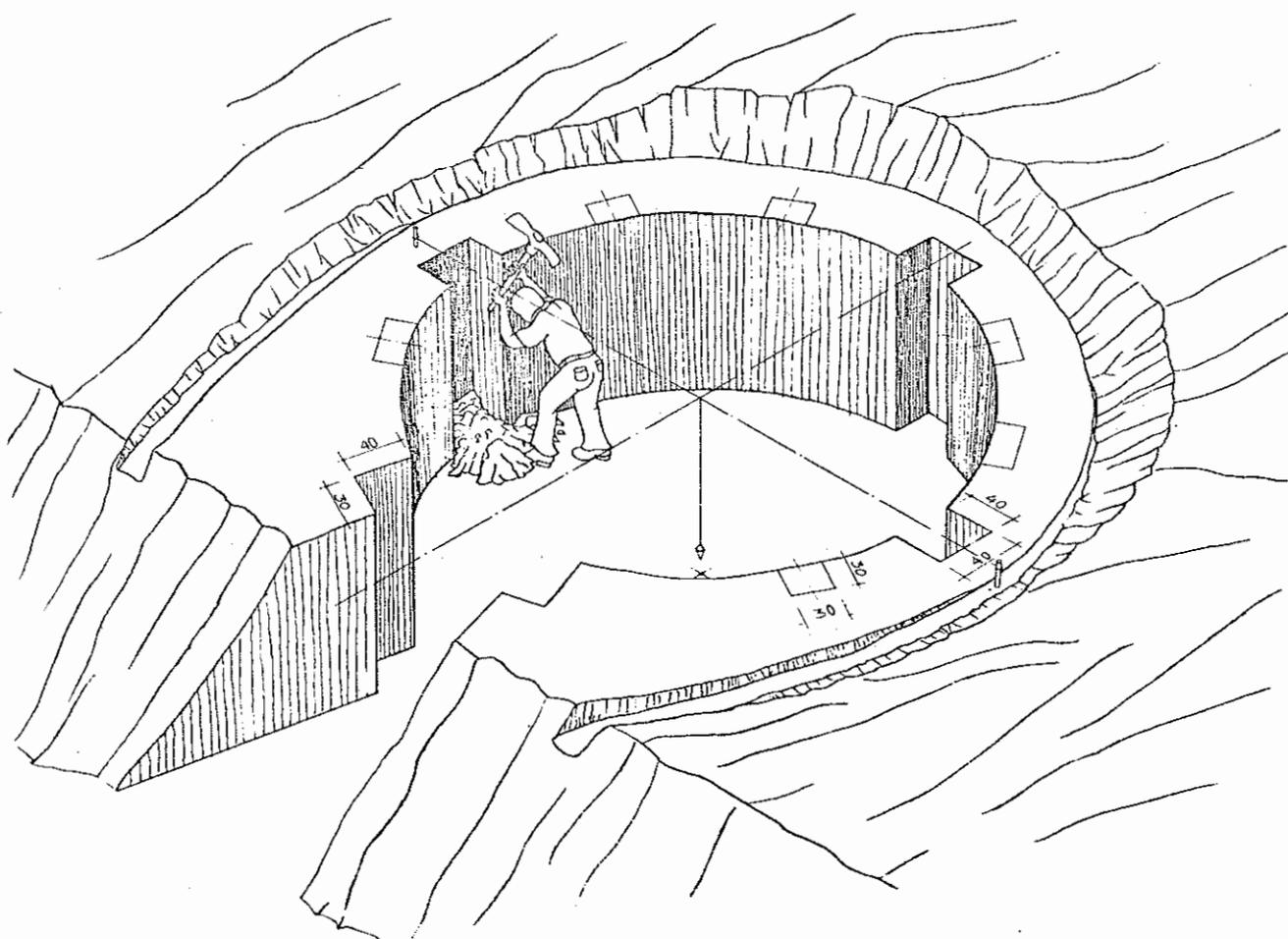


Figura 14

Aspectos de los cortes de la chimenea, "tatus" y refuerzo de la puerta, ya revestidos con ladrillos

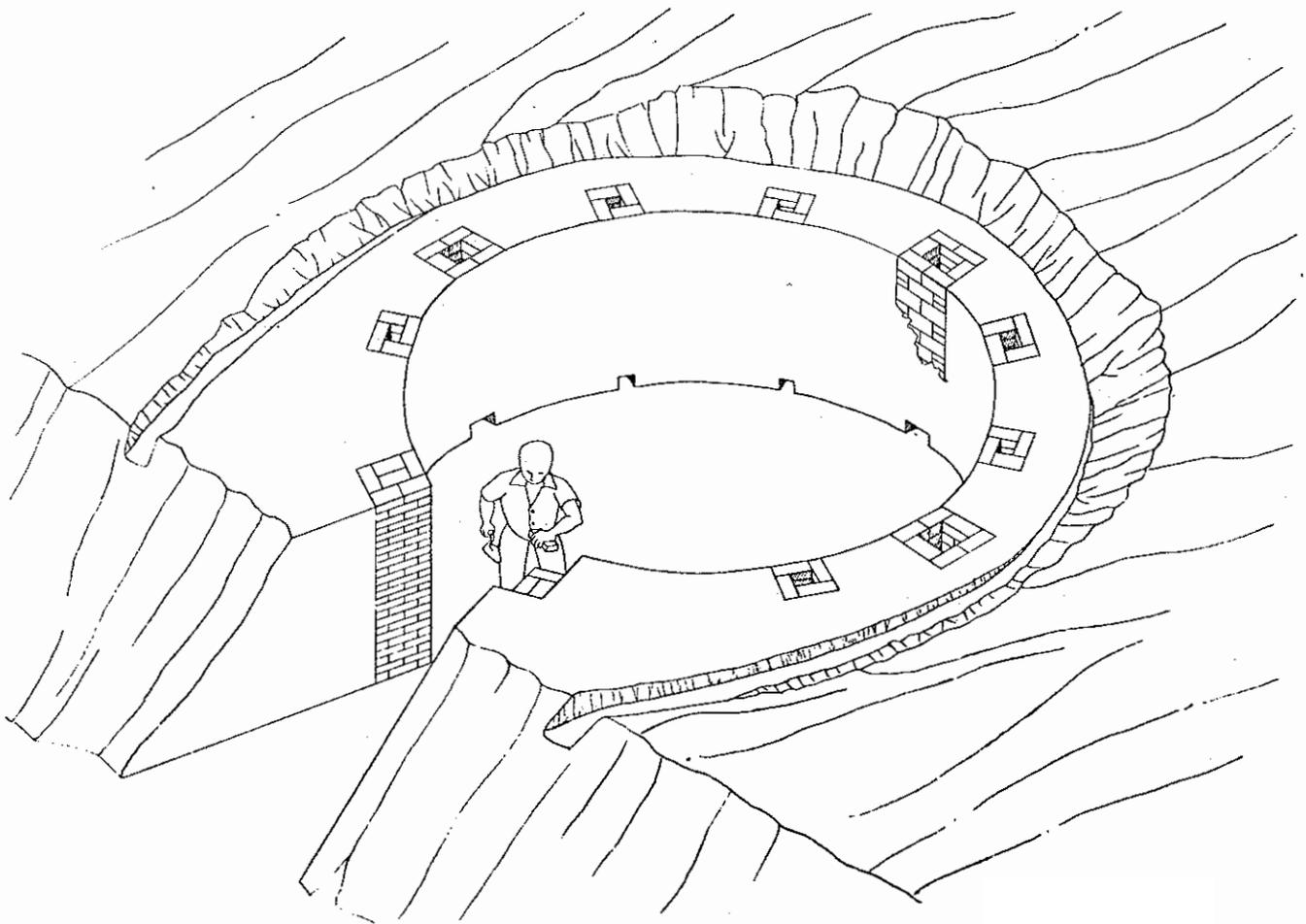


Figura 16

Construcción de la copa del Horno

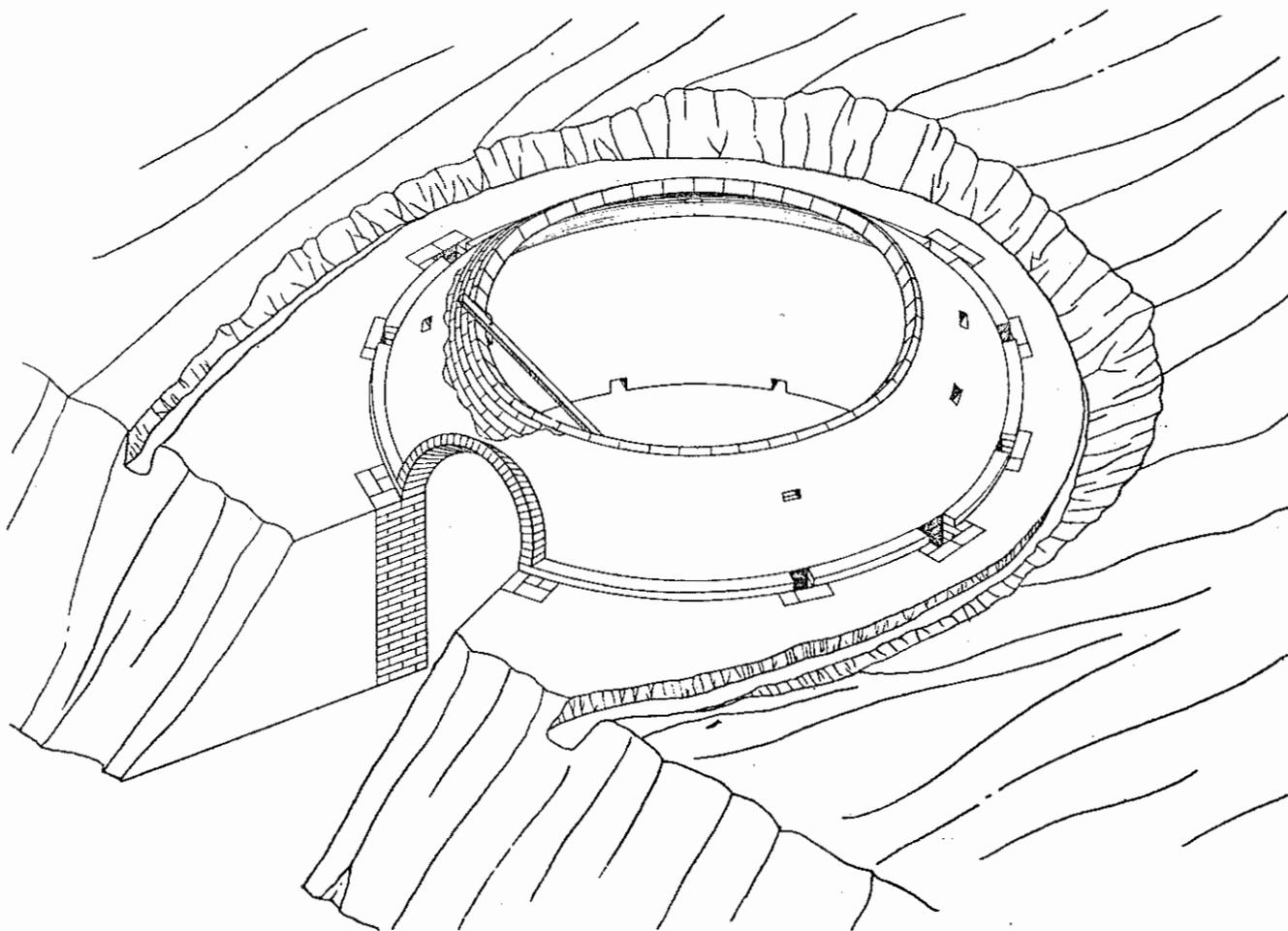
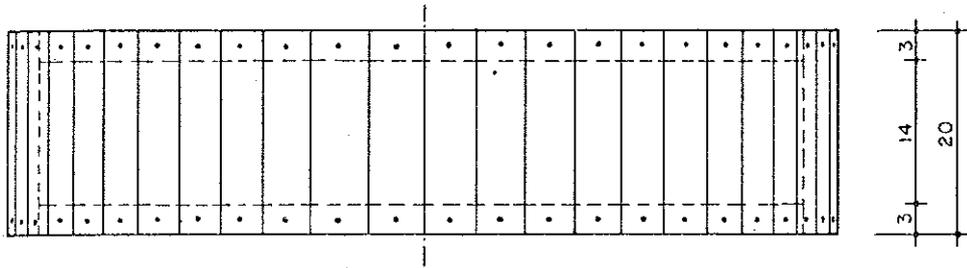
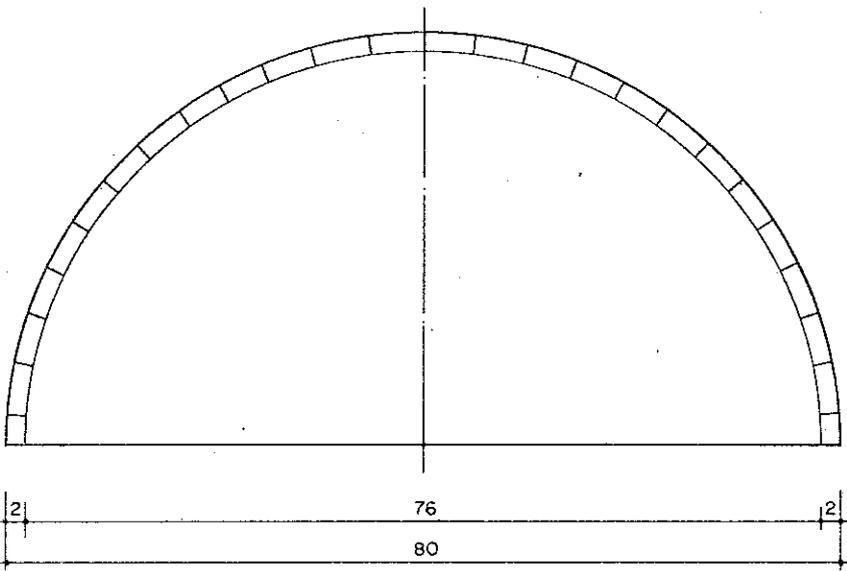


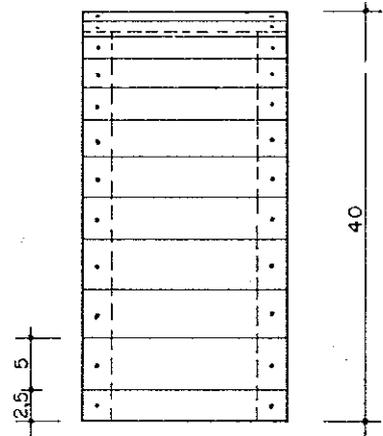
Figura 17 - Detalles para construcción del patrón utilizado en la confección de puerta del Horno



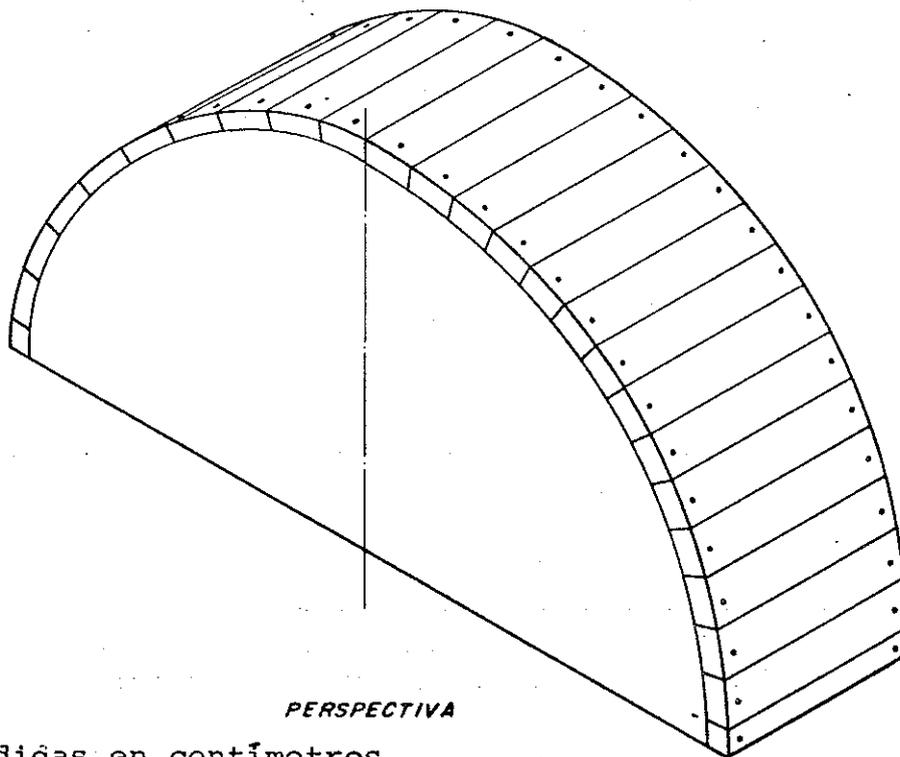
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



PERSPECTIVA

Obs.: medidas en centímetros

alcanzó el fondo del horno en la región de aquella chimenea. Dependiendo de la apariencia del humo en las otras chimeneas debe cerrarse o, por lo menos "sofocar", la propia chimenea.

El aparecimiento de brasas en el fondo de un "tatu", lo que es comprobado visualmente, es indicación segura de que la frente de carbonización alcanzó aquella región y debe ser inmediatamente cerrado.

Cuando todos los "tatus" y chimeneas estuvieren cerrados, embárrase el horno, que entra entonces, en la fase de enfriamiento. Como ya fue abordado anteriormente, el embarramiento tiene la función de tapar las hendiduras que pueden aparecer durante la carbonización y puede ser necesario más de un embarramiento durante la fase de enfriamiento.

La descarga de carbón, sólo debe ser iniciada después que el horno estuviere suficientemente frío, valiéndose las mismas observaciones hechas para el Horno Media Naranja.

Antes de iniciarse nueva carbonización se debe tener el cuidado de limpiar el interior del horno, desobstruir los "tatus" y chimeneas y abrir las "baianas". Esta operación debe ser rápida para que el horno no enfríe totalmente

Figura 18

Aspecto general de un Horno del Albañilería

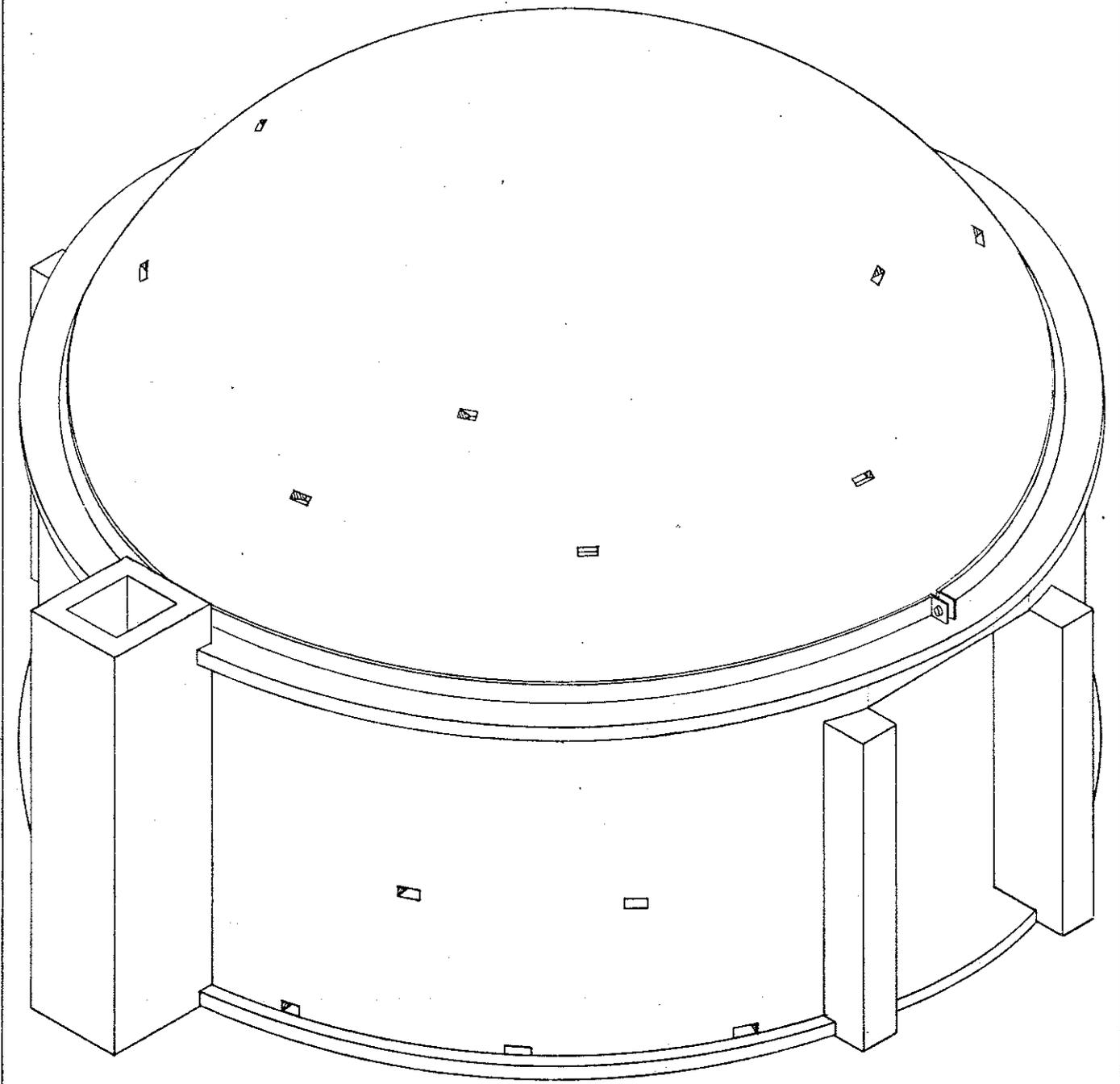
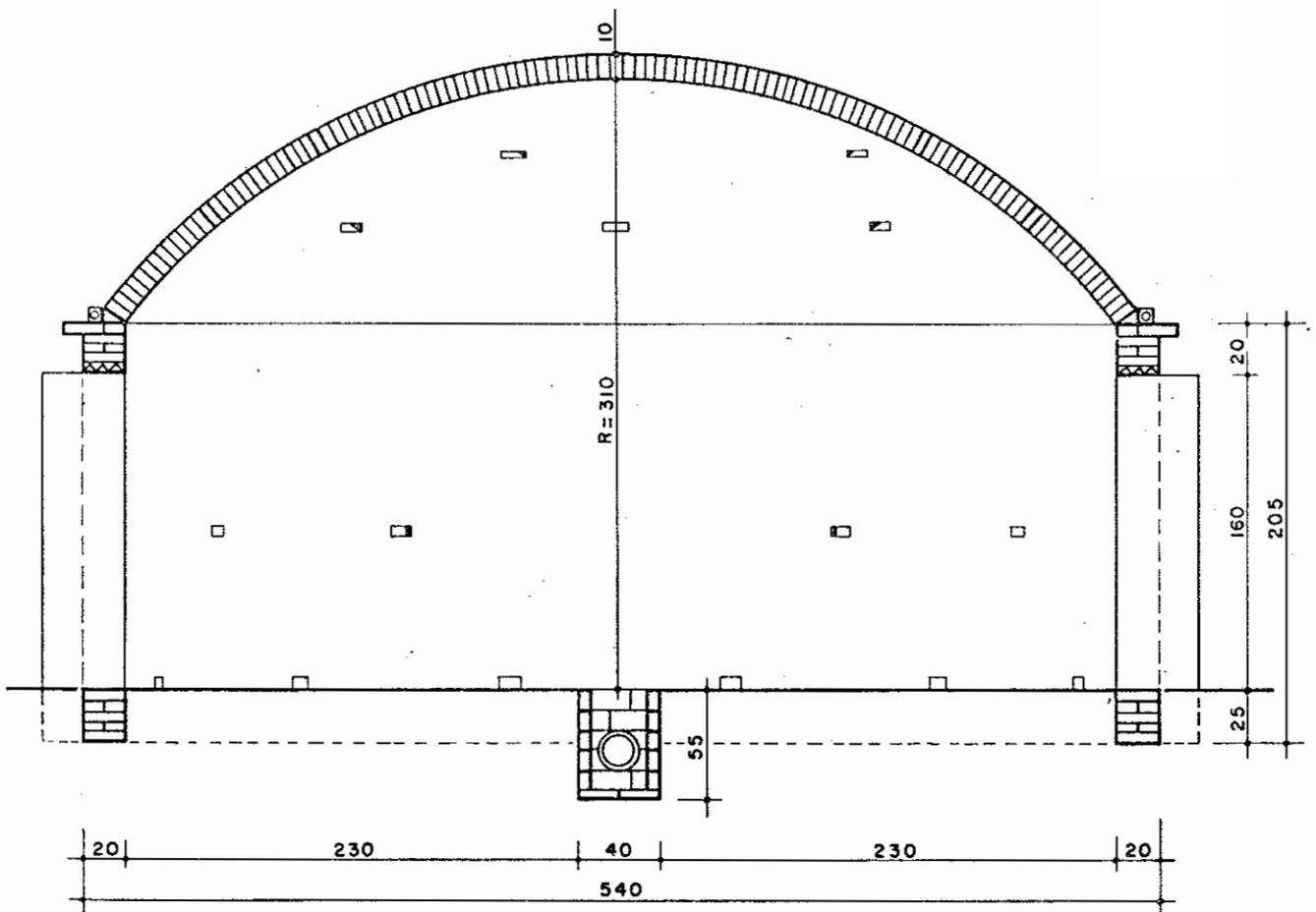


Figura 19b

Medidas básicas para
construcción del Horno



CORTE "AA"

Obs.: Medidas en centímetros

estaca, se amarra un clavo grande. Con el alambre estirado se camina alrededor de la estaca marcando el suelo con el clavo. En seguida se repite la operación con el clavo amarrado a 2,50m de la estaca.

La base del horno tendrá una anchura de cerca de 30cm, o el equivalente a 1 ladrillo y medio.

En el centro del horno debe ser marcado un cuadrado de 40cm de lado, donde será construida la caja de tirada de la chimenea. tiraje hacer, también, la marcación de la canaleta que ligará la caja de tiraje a la chimenea. En la base de la chimenea debe ser marcado un se debe de 50cm de lado.

La figura 20 muestra como debe ser hecha la marcación, se indica, inclusive, la posición de la chimenea y de las puertas.

4.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En la construcción del Horno de albañilería se utiliza, prácticamente, sólo ladrillos comunes, tierra y arena.

Los ladrillos son macizos, de barro "cocido", y la argamasa utilizada en su asentamiento es una mezcla de tierra, arena y agua, formando um "barro" fácil de trabajar.

Para hacer la argamassa se usa la tierra de que se disponga en el lugar en que se esté construyendo el horno. La tierra que se encuentra en la superficie del terreno (tierra negra) no sirve para hacer la argamasa, debiendo cavar hasta atravesar esta faja de terreno.

La mezcla de arena tiene como objeto el de reducir las hendiduras que aparecen en el horno durante las carbonizaciones. La cantidad de arena a ser mezclada va a depender de las condiciones de la tierra disponible y de la función que la argamasa va a desempeñar, aspectos ya abordados en los items anteriores y válidos, también, para el Horno de Albañilería.

La experiencia ha demostrado que la mezcla en la argamasa de un material resistente al calor, como por ejemplo, el cemento de alto horno (AF 320), aumenta la durabilidad del horno y reduce el trabajo de manutención.

Como no es posible el establecer una línea, ésto es, la proporción de los componentes de la mezcla de tierra, arena, cemento y agua, que sea económica y atienda a todas las situaciones, recomiéndase que los interesados procuren la Fundación Centro Tecnológico de Minas Gerais para orientación.

Otros materiales usados en menor cantidad como pernos, cantoneras y otros, serán mencionados durante la descripción del proceso de construcción.

4.4. CONSTRUCCIÓN DE LA BASE

Como muestra la figura 21, el terreno será cortado conforme a la marcación hecha y de acuerdo con las medidas mostradas en las figuras 19a, 19b e 19c.

La caja de tirajè es conectada a la chimenea a través de tubos de 30cm de diámetro. El fondo de la caja debe quedar, por lo menos, 10 cm más bajo que el tubo, para evitar que pedazos de carbón caigan adentro de la caja y dificulten el pasaje de los gases.

La caja de tiraje puede ser cubierta con una rejilla de barras o planchas.

Como será visto adelante, el patrón para construcción de la copa del horno es apoyado en el centro del piso. Por esto puede ser conveniente cavar el agujero de la caja de tiraje, solamente después de la construcción de la copa del horno.

La base de la chimenea debe ser bien calcada y revestida con paredes de 1/2 ladrillo.

La base del horno será construída asentándose en la cuneta ya calcada y nivelada, hiladas de 1 ladrillo y medio, hasta que la base esté a una hilada, por lo menos, más alta que el terreno alrededor. El fondo del horno debe ser calcado y nivelado con la base (figura 22).

El revestimiento del fondo del horno con ladrillos es un procedimiento no obligatorio, pero facilitará mucho la limpieza de éste después de las carbonizaciones. Y el carbón producido estará más limpio.

4.5. CONSTRUCCIÓN DE LA PARED

Conforme los diseños de las figuras 19a, 19b e 19c, la camisa o pared tiene 1,80m de altura y será construída en hiladas de 1 ladrillo (cerca de 20cm de espesura).

En la 1a. hilada de la pared están localizados los "tatus" que, conforme ya mencionado, permiten la entrada de aire para la carbonización. Los "tatus" tienen la dimensión correspondiente a la sección transversal de un ladrillo, son 12 y están distribuídos conforme muestra la figura 19c.

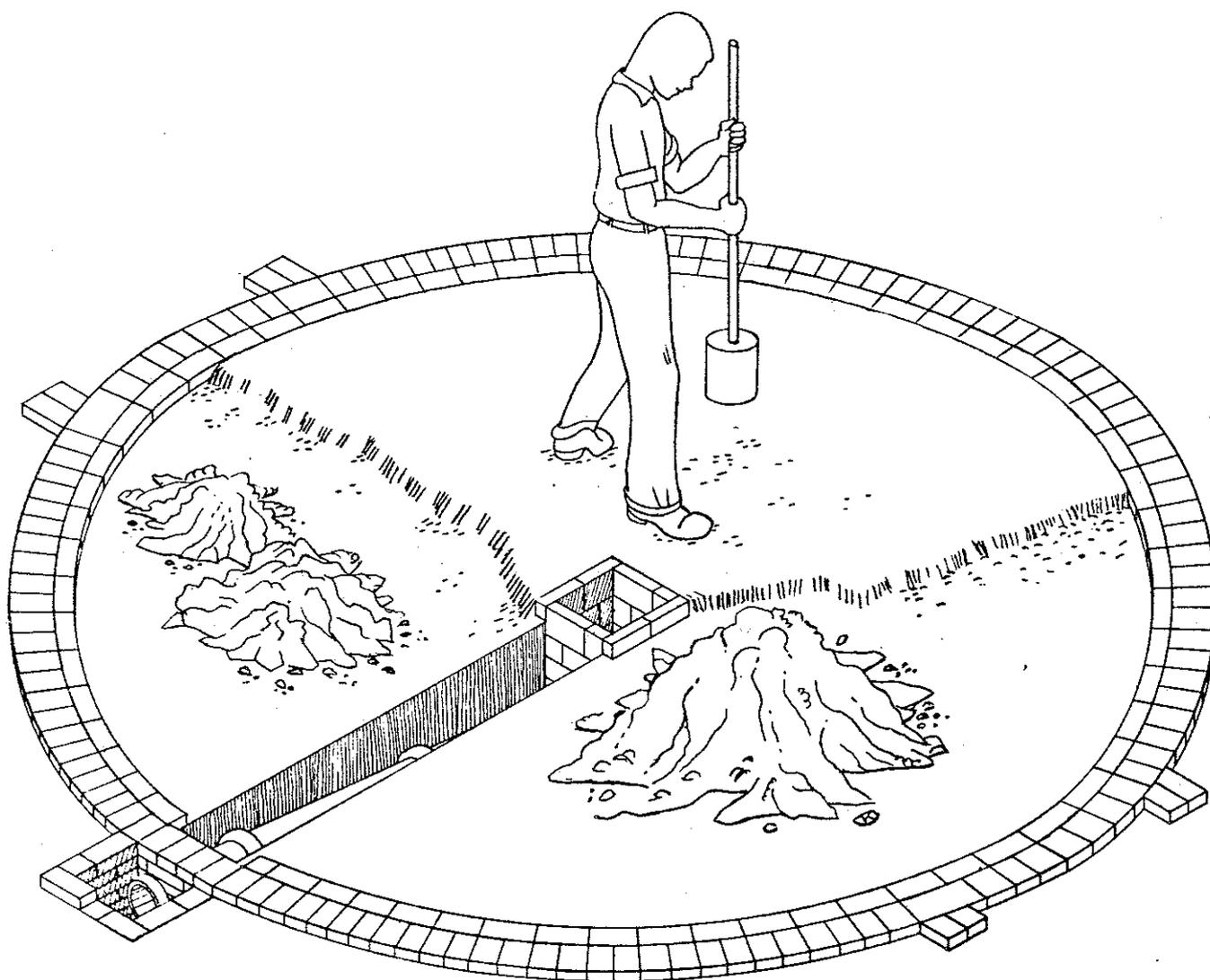
En la 15a. hilada están localizadas las "filas" u "orificios de seguridad". Las "filas", como los "tatus", tienen la dimensión de 1 ladrillo, son 9 y están espaciados unas de las otras (figura 19c). Las "filas", además de funcionar, como entrada de aire para la carbonización, permiten la observación del avance del frente de carbonización, como se verá más tarde.

Las puertas son puntos críticos del horno, en términos de durabilidad, pues sus laterales están sujetos a golpes frecuentes durante el carguio de la leña. Las laterales de las puertas son reforzadas y la amarradura de la albañilería, así como la amarradura de la chimenea a la pared del horno son mostradas en la figura 23.

Al alcanzar la altura deseada para las puertas (1,60m), se utiliza,

Figura 22

Aspecto de la base del Horno, así como la caja de tiraje y base de la chimenea



para cubrir el vano (1,0m), tres planchas de bordes iguales (2" x 1/4") con 1,50m de largura para cada puerta. Sobre las planchas serán asentadas 2 hiladas de ladrillos, siendo que la segunda coincidirá con la última hilada de la pared. Esta hilada será de 1 ladrillo y medio, constituyendo un alero que protegerá la pared del horno contra la lluvia, aumentando la durabilidad de su revestimiento (figura 23).

4.6. CONSTRUCCIÓN DE LA COPA

En la construcción de la copa es utilizado una cercha o patrón con 3,10m de largura, que es la distancia entre el centro del horno y la primera hilada de la copa.

La copa tiene la espesura equivalente a 1/2 ladrillo y su primera hilada es asentada conforme muestra la figura 24 y el detalle de la figura 25. Los ladrillos de la primera hilada son achaflanados (en cuña) para que tengan la inclinación de la cercha. Las hiladas siguientes son asentadas acompañándose la inclinación de la cercha que va girando y cerrando la copa del horno.

Después de asentados 3 ó 4 hiladas de la copa se ajusta la cinta que irá a sustentarla. Se construye esta cinta en platina con espesura de aproximadamente 6mm y ancho de 7,50cm. La cinta es dividida en cuatro partes iguales, con largura de 4,15m que, unidas con pernos de 12,0cm de largura y diámetro de 16mm (5/8 de pulgada), forman un anillo con radio de aproximadamente 2,60m. En el momento del ajuste de la cinta sobre la pared, los pernos no deben ser apretados, manteniéndose las partes de la cinta separadas unas de las otras, conforme muestra la figura 25. Recomiéndase que, a cada diez hiladas asentadas, los pernos que unen las 4 partes de la cinta sean ligeramente apretados. El aprieto debe ser igual para todos los pernos, y al completarse la copa se debe dar un último apriete en todos los pernos. No es necesario que al final de la construcción las cuatro partes de la cinta estén apoyadas o ajustadas unas a otras.

Conforme muestran las figuras 19b y 19c, hay dos series de orificios en la copa, las "baianas" que tienen las mismas medidas de los "tatus" y de las "filas". Es por las "baianas" que sale el humo durante el encendido del horno. La primera serie, con 8 "baianas", coincide con la 14a. hilada de la copa, y la segunda serie con 4 "baianas", está localizada en la 27a. hilada. Durante el asentamiento de esas hiladas, el lugar de las "baianas" se deja simplemente vacío.

En el asentamiento de las hiladas se debe usar la menor cantidad de argamasa, y los ladrillos de una misma hilada deben ser muy bien ajustados unos a otros.

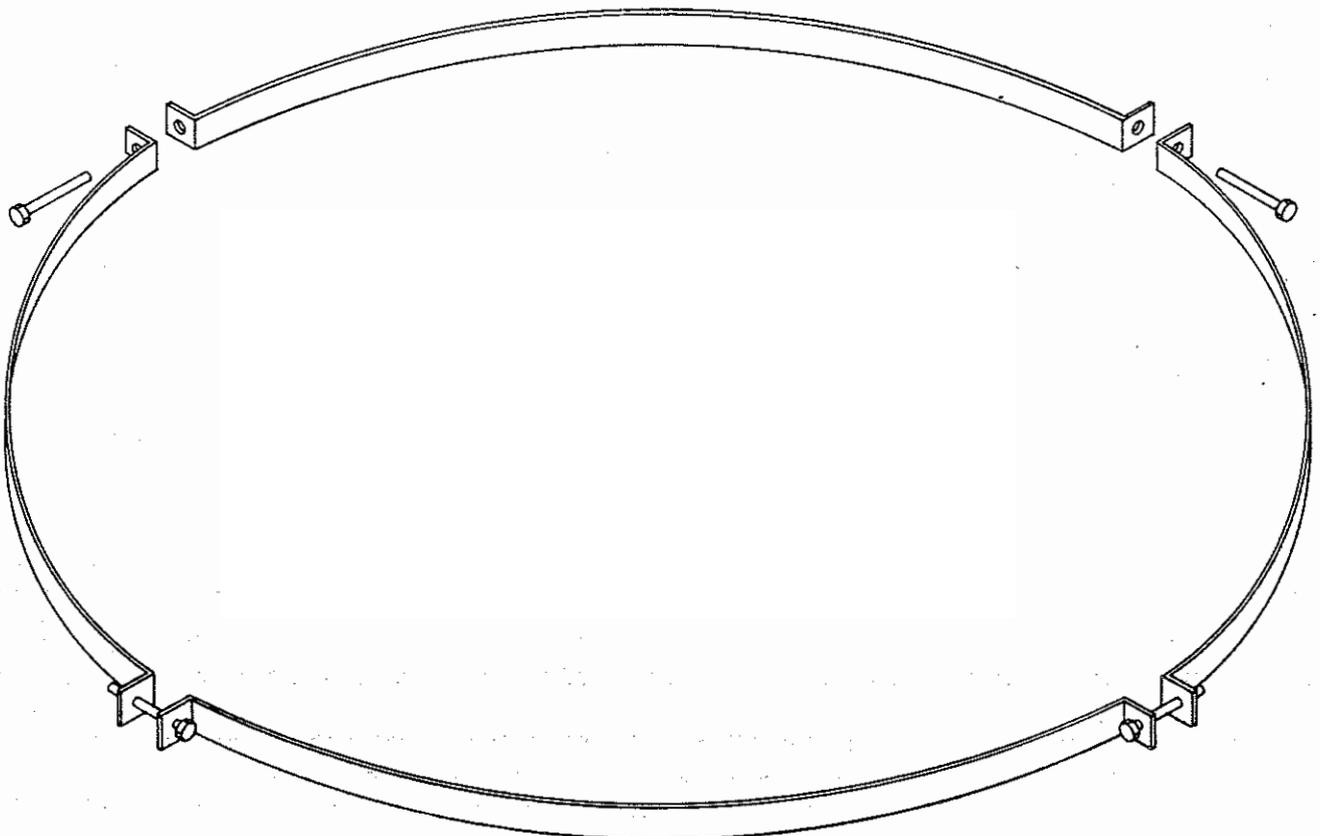
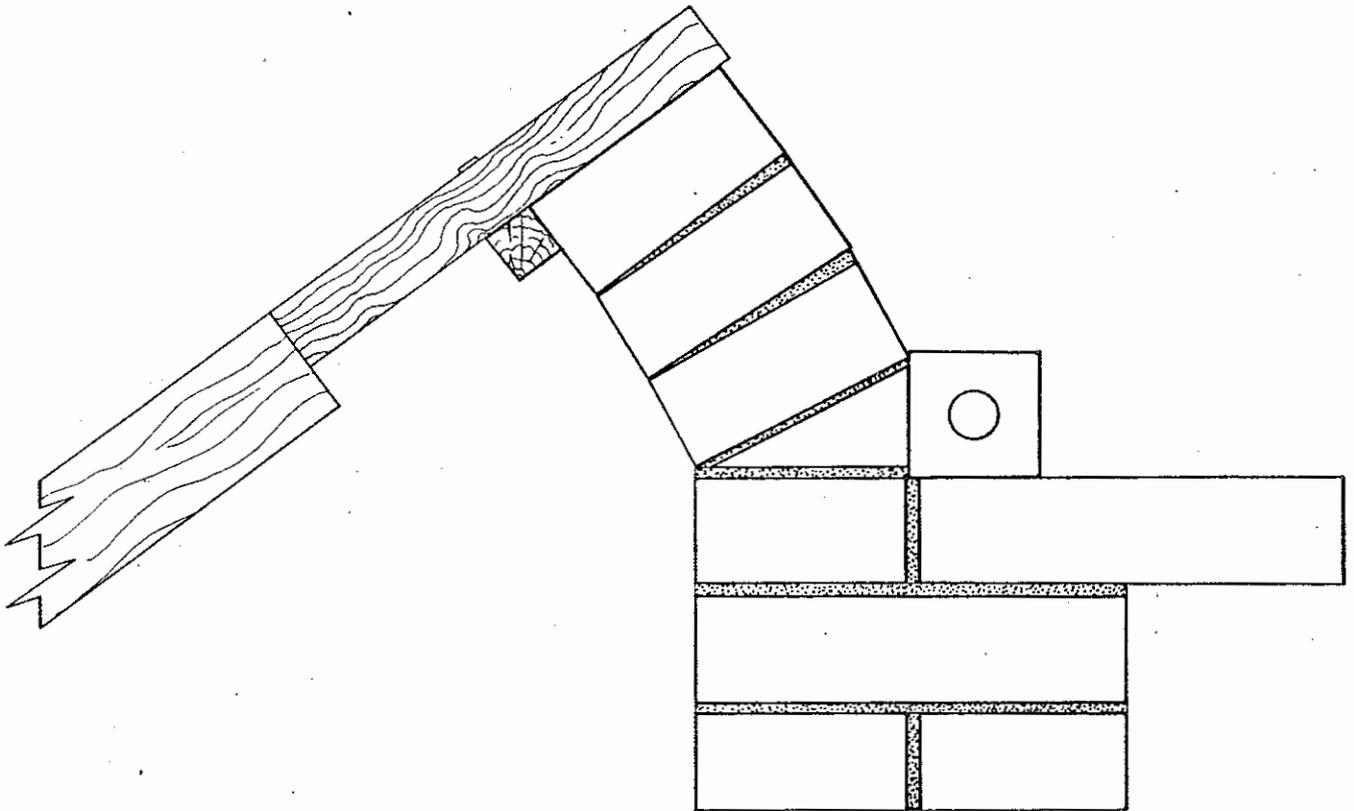
4.7. REVESTIMIENTO DEL HORNO

El horno debe ser revestido externamente con la misma argamasa usada para el asentamiento de los ladrillos. Sobre la argamasa a ser utilizada, valen las observaciones hechas en los items anteriores. La capa de revestimiento debe ser fina, esto es, lo suficiente para recubrir las juntas y las imperfecciones de los ladrillos.

Un revestimiento bien hecho aumentará la durabilidad del horno, contribuyendo, también, para que la carbonización sea más fácilmente conducida.

Figura 25

Detalle del asentamiento de las hiladas de la copa y montaje de la cinta



4.11 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Para construirse el horno aquí descrito, son necesarios los siguientes materiales:

- . 9000 ladrillos de barro macizo (no considerando el revestimiento del piso del horno);
- . 4 tubos de barro con diámetro de 30cm e 0,70m de largura;
- . 4,50m³ de tierra;
- . 3,00 m³ de arena;
- . 4 cintas de hierro planto (platina) con 7,5 cm (2,5 pulgadas) de anchura, espesura de 6mm (1/4 de pulgada) y largura de 4,15m;
- . 4 pernos (con tuercas) con diámetro de 16mm (5/8 de pulgadas) y largura de 120mm;
- . 6 planchas de bordes iguales, de 50mm, con espesura de 6mm y largura de 1,50m;
- . 1 rejilla de hierro redondo (5/8 de pulgada), o cantoneras.

Las cantidades de arena y tierra, mencionadas encima, refieren a una situación específica. Esas cantidades varían de caso para caso, conforme las características de la tierra en el local de la construcción.

De la misma forma, en caso que sea necesario, los tubos pueden tener otra largura, y el hierro plano puede ser substituído por otros materiales, desde que cumplan las mismas funciones.

Como ya se mencionó, el Horno de Albañilería normalmente es utilizado en grandes baterías. En este caso la preparación del terreno es hecha con máquinas pesadas.

Además de ese aspecto, la construcción del horno en sí, no necesita de herramientas especiales. Serán necesarios los instrumentos para cavar y calcar la tierra, bien como los utensilios normales de albañil. Las cerchas o patrones utilizados en la construcción de las paredes y de la copa, pueden ser construídos en el local con reglas de madera u otro material cualquier.

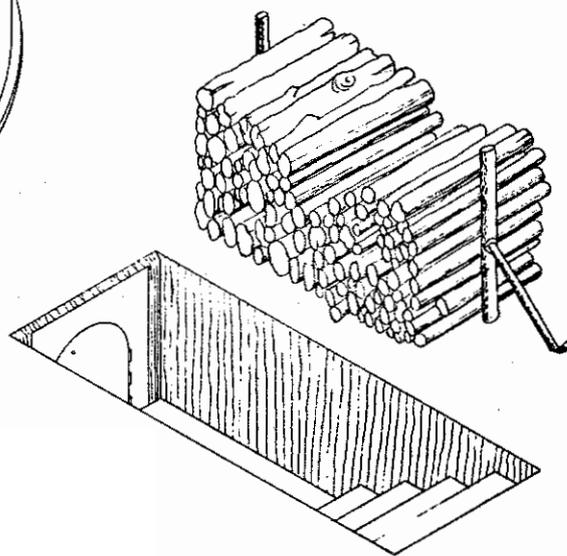
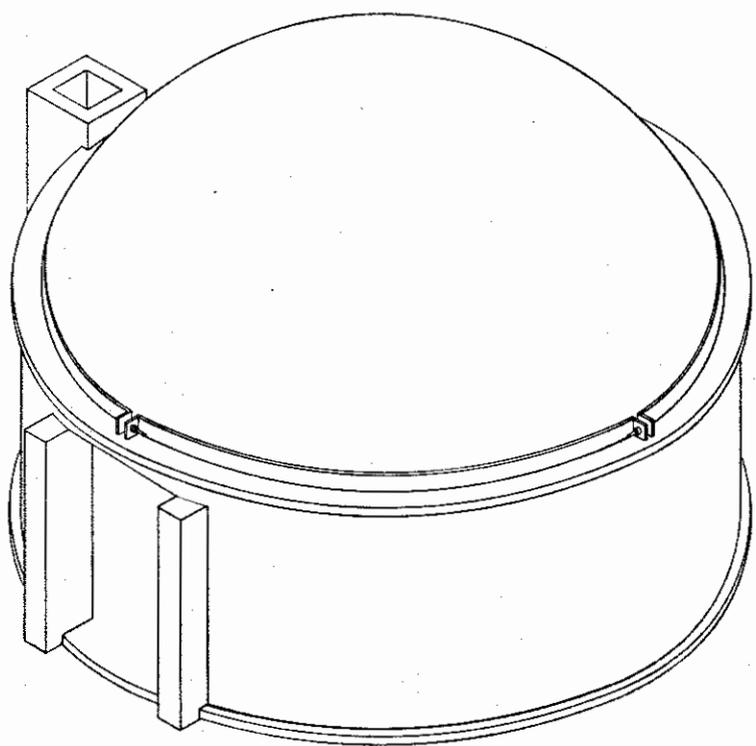
4.12 MANO DE OBRA

Estímase que, en condiciones normales de trabajo, un albañil y un ayudante deben gastar cerca de 70 horas de trabajo efectivo - cada uno, para construir este horno. Tal estimativa no incluye la mano de obra de preparación del terreno, a la medida que ésta va a depender de factores como, por ejemplo, el tamaño de la batería o el tipo de máquina disponible, resultando difícil de cuantificar.

eventuales reparos en la albañilería, la puerta de descarga es cerrada con una pared de 1/2 ladrillo (conforme procedimiento ya descrito), y se inicia la carga leña para la próxima hornada.

Figura 26

Aspecto general de un Horno
de Albañilería con Cámara
Externa



diferencias en relación al Horno de Albañilería.

5.1. MARCACIÓN DEL TERRENO

La marcación del terreno es hecha de acuerdo con el procedimiento adoptado para el Horno de Albañilería.

La figura 28 muestra como debe ser hecha la marcación del terreno, indicando la posición de la chimenea, de las puertas, de la cámara de combustión y de las entradas del gas caliente generado en la cámara.

5.2. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Cortado el terreno, conforme indicado en la figura 29, la cámara es construída de acuerdo con los diseños mostrados en la figura 30.

Después de calcado, el fondo de la cámara debe ser revestido con una capa de ladrillos. Las paredes laterales que constituyen sólo un revestimiento del corte en el terreno hecho para la cámara, son construídas en medio ladrillo. Los ladrillos más próximos de la entrada de la cámara deben ser asentados con argamasa de cemento.

Después de construída la parte superior de la cámara, conforme detalle de la figura 30, debe curbrirse con tierra hasta nivelar con el terreno alrededor del horno.

La cámara de combustión posee una rejilla que funciona como cenicero.

La rejilla es hecha con tubos de acero de 50mm de diámetro y 750mm de largura, asentados durante la construcción de las paredes laterales, con espaciamiento de 50mm entre los tubos y a 20 cm del fondo de la cámara .

La cámara de combustión es dotada de una puerta hecha de chapa de acero con 60mm (1/4 de pulgada) de espesura. Esta se fija con bisagras a un batiante también de chapa, y aplomada con la albañilería de la cámara (razón por la cual los ladrillos próximos a la puerta deben ser asentados con argamasa de cemento). Los detalles de construcción y fijación de la puerta son mostrados en la figura 30.

Con la cámara en operación, la puerta se mantiene cerrada y la "ventana", en su parte inferior, permite la entrada de aire por debajo de la rejilla, mejorando las condiciones de la quema del oxígeno del aire.

Los gases calientes generados en la cámara, son conducidos para el interior del horno, a través de tres ductos construídos con tubos (figura 27). Dos de ellos, los laterales, son construídos con tubos de 20 cm de diámetro y el tercero, el central con tubos de 15 cm. En las extremidades de los tubos son construídos cajas de 30 x 30 cm y 15 x 15 cm, respectivamente, revestidos con ladrillos en hoja y protegidos por una rejilla. Los fondos de esas cajas deben quedar a 10cm abajo de la "boca" de los tubos para evitar que pedazos de carbón dificulten la circulación de gases (fig.27b).

Como la cámara es construída abajo del nivel del terreno, es necesario prever, además de una área de trabajo al frente de la cámara , un acceso conveniente.

En el caso que no sea posible hacer un drenaje de esa área de trabajo, se aconseja la construcción de una cubierta para evitar que la cámara sea inundada de agua de lluvia.

5.3. CURA DEL HORNO

Además de los cuidados ya mencionados anteriormente, debe considerarse que la cámara es un punto crítico en términos de cura, pues en su interior son generados altas temperaturas.

Así, durante la fase de cura del horno, la cámara también debe ser quemada lentamente. La cura cuidadosa del horno disminuirá las oportunidades de apareamiento de hendiduras.

5.4. MANUTENCIÓN

Además de los cuidados de mantenimiento, mencionados para el Horno de Albañilería, se debe dar atención a la puerta de acero de la cámara. Apesar de no estar sujeta a altas temperaturas, la puerta puede sufrir alabeos que deben ser corregidos. Caso contrario, al cerrarse la puerta no se conseguirá buen sellado.

La limpieza frecuente del cenicero bajo la rejilla es importante, ya que permitirá buena circulación de aire y, consecuentemente, una quema más homogénea.

5.5. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Para construir un Horno de Albañilería con cámara, como el aquí descrito, son necesarios los siguientes materiales:

- . 9.200 ladrillos de barro (macizo);
- . 11 tubos de barro con diámetro de 30 cm y 70 cm de largura;
- . 02 tubos de barro con diámetro de 15 cm y 70cm de largura;
- . 4,50 m³ de tierra;
- . 3,00 m³ de arena;
- . 4 platinas de hierro con 7,5 cm (2,5 pulgadas) de ancho, con espesura de 6mm (1/4 de pulgadas) y largura de 4,15m;
- . 4 pernos (con tuercas) con diámetro de 16m (5/8 de pulgada) y largura de 120mm;
- . 6 cintas de bordes iguales, de 50mm, con espesura de 6 mm y largura de 1,50m;
- . 4 rejillas de hierro redondo (5/8 de pulgada) o cintas,
- . 14 tubos de acero con diámetro (externo) de 50mm y 75cm de largura;
- . 1 puerta para la cámara en chapa de acero de 6 mm (1/4 de pulgada) de espesura.

Las mismas observaciones hechas en el ítem anterior para los materiales y herramientas utilizados en la construcción del Horno de Albañilería, valen para el Horno de Albañilería con Cámara Externa.

En la lista presentada no fue incluido el cemento, recomendado para la conclusión de la puerta de la cámara y aplomadura del batiente, sólo porque es utilizado en pequeña cantidad.

5.6. MANO DE OBRA

Estímase que, en condiciones normales de trabajo, 1(un) albañil y un deben gastar cerca de 10 horas de trabajo efectivo, cada uno, para construir la cámara de combustión y asentar los tubos que conducirán los gases calientes.

De esta forma, la construcción del horno consumirá cerca de 80 hs. de trabajo de un albañil y de un ayudante, valiendo las mismas observaciones hechas en el ítem anterior para el Horno de Albañilería.

5.7. OPERACIÓN DEL HORNO

Las observaciones hechas para los hornos ya descriptos, en especial para el Horno de Albañilería, sobre las condiciones de la leña a ser colocada en el horno, sobre los cuidados necesarios para el carguío del horno y descarga del carbón producido, aplicanse, también, al Horno de Albañilería con Cámara Externa.

Como en aquellos hornos, el desarrollo de la carbonización es acompañado por el aspecto de los humos que salen por la chimenea. En este caso, cuando el humo se torna poco denso y de coloración azulada, es indicación de que el frente de carbonización alcanzó el fondo del horno y la carbonización está en el fin. La temperatura de las paredes del horno es, también, una buena indicación de la evolución de la carbonización.

Diferentemente de los hornos ya descriptos anteriormente, el control de la carbonización es hecho exclusivamente a través de la cámara de combustión, toda vez que este horno no posee "tatus", "filas" ni "baianas", que en los demás hornos funcionan como entradas de aire.

Después de encendida la cámara, el control de la carbonización se da por la cantidad de aire que se deja entrar en su interior. Con la puerta de la cámara cerrada, la cantidad de aire es regulada por la abertura de la ventana en la parte inferior de la puerta.

En principio, la cámara debe mantenerse encendida durante toda la fase de carbonización. El control de la llama en la cámara es hecho de tal modo que no se permita entrada de oxígeno al interior del horno, control que evitará la quema de la leña en el horno. La alimentación de la cámara debe, por tanto, ser hecha de tal manera que no falte leña para la quema, y que no se queme leña en exceso.

A un mayor volumen de aire que se deje entrar en la cámara, corresponderá una carbonización más rápida y, también, a la quema de mayor cantidad de material en la cámara. Es necesario, por lo tanto, procurar el punto de equilibrio que tornará la producción

Organización Latinoamericana de Energía/OLADE
Av. 10 de Agosto 5133 y Naciones Unidas
Casilla 6413 C.C.I.
Telex: 2728 OLADE-ED
Quito - Ecuador

Ministerio de Energía y Minas de Guatemala
Diagonal 17, 29-78 Zona 11
Telefono: 762 459 / Telex: 5516 PETGUA GU
Guatemala - Guatemala

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC
Av. José Cândido da Silveira, 2000 / Telefone: PABX(031)461-7933
Telex: (031)1031
30000 - Belo Horizonte - MG
Brasil

Florestal Acesita S/A
Av. Afonso Pena, 1500, 6º andar / Telefone: (031)212-3600
Telex: (031)2276
30000 - Belo Horizonte - MG
Brasil