

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
MANUFACTURERA**

**INFORME TECNICO  
PARA LA OBTENCION DEL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO**

**“EXPERIENCIAS EN PROYECTOS DE  
OPTIMIZACION ENERGETICA Y EMPLEO DE  
COMBUSTIBLES ALTERNOS”**

**PRESENTADO POR :**

**JOSE ROGGER INCIO SANCHEZ**

**PROMOCION : 82 - II**

**UNI, JULIO DE 1997**

## INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCION	07
II. ACTIVIDAD PROFESIONAL	09
A. EL ORGANO EMPRESARIAL	09
B. RELACION PROFESIONAL - EMPLEADOR	14
C. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO	14
1. Cargos desempeñados	14
2. Funciones asignadas al cargo desempeñado	14
3. Tiempo de prestación de servicios .....	18
D. FUNCIONES DESEMPEÑADAS QUE NECESITARON EL CONOCIMIENTO DE TECNICAS PROFESIONALES...	19
1. APLICACIONES DEL CARBON - Proyecto de Briquetas de carbón.	20
1.1 Investigación Tecnológica	20
1.2 Selección de Tecnología.	26
1.3 Reconocimiento de materiales - Minas de carbón.	27
1.4 Ensayos de laboratorio para la fabricación de briquetas de carbón.	32
1.4.1 Procedimiento	33
1.4.2 Análisis químicos .....	35
1.4.3 Equipos y accesorios utilizados .....	36
1.4.4 Pruebas de briqueteado y combustión.....	42
1.4.5 Evaluación de resultados. ....	49
1.4.6 Conclusiones de las pruebas experimentales.	51
1.5 Factibilidad técnico-económica para la fabricación de briquetas de carbón. ....	52
1.6 Perfil del Proyecto de Planta Piloto para la Fabricación de briquetas de carbón .....	54
1.6.1 La Industria de Briquetas de carbón en Corea del Sur. ....	55

1.6.2	Perfil del Proyecto.	.....	57
a)	Objetivo del Proyecto.	.....	58
b)	Justificación.	.....	58
c)	Etapas del Proyecto.	.....	59
d)	Mercado.	.....	62
e)	Tamaño y Localización de la Planta.....		62
f)	Ingeniería del Proyecto.	.....	64
g)	Inversión.	.....	67
1.7	Situación final de Proyecto	.....	69
1.8	Perspectivas de la Industria de Briquetas de carbón en el Perú.		71
1.8.1	Entorno macroeconómico	.....	71
1.8.2	El gas en el panorama energético del Perú		71
1.8.3	Fabricación actual de briquetas de carbón.		72
1.8.4	Posibilidades.	.....	74
2.	APLICACIONES DEL CARBON: Proyecto de Sustitución de Petróleo Industrial N°6 por Carbón Pulverizado en los Hornos Reverberos de Cobre de Centromin Perú S.A., La Oroya.	.....	80
2.1	Complejo Metalúrgico de la Oroya	.....	80
2.2	Fundición de Cobre	.....	81
2.3	La Fusión en Hornos de Reverbero.	.....	85
2.3.1	Características	.....	85
2.3.2	Régimen Térmico	.....	85
2.4	Alternativas tecnológicas para reducir el consumo de petróleo en la fundición de Cobre.		87
2.4.1	Hornos Tipo Flash		88
2.4.2	Aire enriquecido con oxígeno		88
2.4.3	Tecnologías de oxy-combustión		89
2.4.4	Combustión de carbón pulverizado utilizando		

	aire enriquecido con oxígeno.	90
2.5	Proyecto de sustitución de Petróleo Nº6 por Carbón pulverizado en el Horno Reverbero Nº2	90
2.6	Planificación Técnica de pruebas en el Horno Reverbero Nº2.	91
2.6.1	Cálculos preliminares para la sustitución...	92
2.6.2	Parámetros de sustitución.	93
2.6.3	Diseño preliminar de los quemadores de carbón con aire enriquecido con O <sub>2</sub> (Hasta un max. de 30%) .....	96
2.6.4	Flujograma del proceso de sustitución de 50% de petróleo por carbón y enriquecimiento (hasta 30%) del aire total para la combustión del carbón. ....	102
2.6.5	Descripción de los equipos principales.....	103
2.6.6	Equipamiento principal e inversiones y costos de operaciones para las pruebas.....	116
2.6.7	Determinación de los costos de las pruebas de sustitución de petróleo (50%) en el Reverbero Nº2. ....	123
2.7	Evaluación de las ventajas económicas de la sustitución de Petróleo por Carbón y de la introducción de Oxígeno.	125
3.	<b>GESTION DE LA ENERGIA EN LAS UNIDADES DE PRODUCCION DE CENTROMIN PERU.....</b>	<b>130</b>
3.1	Gestión Energética.	130
3.2	Metodología para estudios de optimización energética.	131
3.2.a	Pre-diagnóstico energético	132
3.2.b	Diagnóstico energético integral.	132

3.3	Programa de mediciones.	.....	133
3.4	Recuperación de calor de los gases de combustión.		134
3.4.1	Pre calentamiento del aire de combustión en tostadores de cobre.		136
3.4.2	Caldera de recuperación a partir de los gases de los hornos Reverberos.	.....	137
3.5	Optimización de la combustión del petróleo industrial.	.....	138
3.5.1	Calentamiento del petróleo para bombeo		139
3.5.2	Atomización del petróleo para la combustión		141
3.5.3	Sistema de petróleo para los Hornos Reverbero de cobre.		143
3.5.4	Mejoras realizadas.		146
3.6	Planes Operativos	.....	149
3.6.1	Plan Operativo y Presupuesto 1996 de la División de Energía de Centromín Perú S.A.	.....	150
4.	SUSTITUCION DEL USO DEL PETRÓLEO N°6 POR PETRÓLEO DE ALTA VISCOSIDAD R-500		
4.1	Pruebas preliminares.	.....	166
4.1.1	Pruebas de descarga. Resultados comparativos.	.....	166
4.1.2	Recomendaciones para una adecuada utilización del R-500.	.....	167
4.2	Esquemas de pilotaje para el uso del R-500 en los Reverberos de Cobre, en reemplazo del R-6.		169
4.3	Uso de aditivos químicos.		175
5.	Cantidad y tipo de personal administrado.		182

E.	Conclusiones.	184
III.	BIBLIOGRAFIA.	
IV.	APENDICES	
	Apéndice N°1	Características de las briquetas tipo doméstico fabricadas en Planta Piloto Pallasca.
	Apéndice N°2 :	Operación de Planta de Briquetas.
	Apéndice N°3 :	Indices de Briqueta "Chimú", Laboratorio de Chimbote, Banco Minero del Perú.
	Apéndice N°4 :	Briqueta Coreana de Carbón y características principales.
	Apéndice N°5 :	Briqueta encendedora - Componentes principales.
	Apéndice N°6 :	Aplicaciones de la briqueta de carbón en micro y pequeñas empresas.
	Apéndice N°6A:	CARBOTEC S.A Experiencia Peruana en fabricación de briquetas.
	Apéndice N°7 :	Cálculos preliminares para combustionar carbón.
	Apéndice N°8 :	Cálculo preliminar del diámetro de los quemadores.
	Apéndice N°9 :	Esquema simplificado del flujograma propuesto por Atritor para uso de carbón pulverizado
	Apéndice N°10 :	Datos del Carbón.

Apéndice N°11 Balance térmico del Tanque de Servicio N°2.

Apéndice N°12 : Documentos probatorios (Certificados de Trabajo)

## I. INTRODUCCION

La actividad profesional que se describe en el presente Informe, está referida a dos etapas muy diferenciadas:

1. Como Ingeniero de campo, entre los años 1984 a 1987, de la Empresa Promotora del Carbón S.A (PROCARBON), (liquidada en el año 1991), realizando trabajos de ejecución de pruebas diversas para encontrar una aplicación adecuada y conveniente de la antracita peruana como combustible alternativo al uso del kerosene, (petróleo diesel), utilizado por un gran porcentaje de la población peruana como combustible doméstico.
2. Como Ingeniero Supervisor de Energía, de la Empresa Minera del Centro del Perú S.A (CENTROMIN PERU), entre los años 1989 a 1991, desarrollando los proyectos de sustitución del petróleo industrial R-6 por carbón pulverizado en la Fundición de Cobre del Complejo Metalúrgico de la Oroya, y el desarrollo de diversas actividades de gestión en las Unidades de Producción, haciendo referencia a la implementación de planes de ahorro y conservación de energía, optimización de la combustión del petróleo y a la sustitución del petróleo R-6 por petróleo de alta viscosidad R-500.

El tema en su conjunto, está directamente relacionado con el desarrollo de alternativas de solución al problema energético del país, a través de nuevos proyectos, con adaptación de tecnologías simples y de bajo costo, utilización de combustibles alternativos de menor costo y la aplicación de técnicas de optimización energética.

En cualquier actividad productiva, la energía es uno de los principales componentes de los costos de producción y cuando la coyuntura de un país presenta situaciones de escasez o encarecimiento de la energía, los Ingenieros



Químicos tienen las herramientas básicas para el planteamiento de alternativas técnicas y económicas, investigando materiales, desarrollando proyectos nuevos o implementando adaptaciones de otras experiencias.

## **II ACTIVIDAD PROFESIONAL**

El Informe describe parte de las actividades profesionales desarrolladas en dos empresas en los períodos de 1984 a 1987 y de 1990 a 1993.

### **A. EL ORGANO EMPRESARIAL**

#### **A.1 PERIODO : 1984 A 1989**

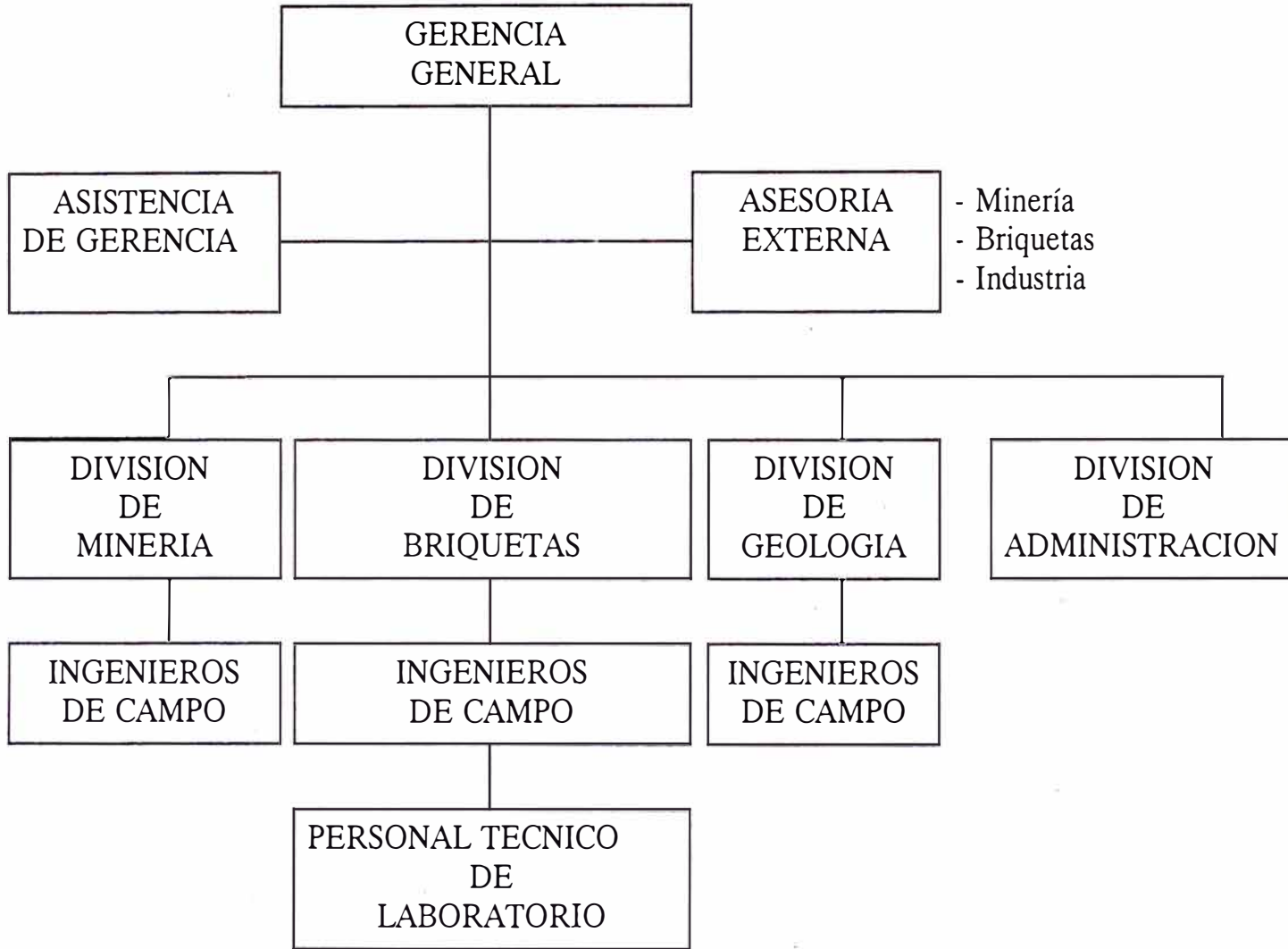
- 1.- Nombre y Razón Social de la Empresa:  
Empresa Promotora del Carbón S.A. (PROCARBON)
- 2.- Dirección :  
Av. Central 717 - 4to. Piso - San Isidro.
- 3.- Sector al cual pertenece:  
Sector Energía y Minas  
Sub - Sector Minería
- 4.- Estructura Orgánica:  
Ver Diagrama N° A. 1-1
- 5.- Líneas de producción:  
Ninguna. Función promotora, de investigación y desarrollo.

#### **A.2 PERIODO : 1990 A 1995**

- 1.- Nombre y Razón Social de la Empresa:  
Empresa Minera del Centro del Perú S.A.  
(CENTROMIN - PERU)
- 2.- Dirección :  
Unidad de Operaciones de La Oroya - Junín.
- 3.- Sector al cual pertenece:  
Sector Energía y Minas  
Sub - Sector Minería

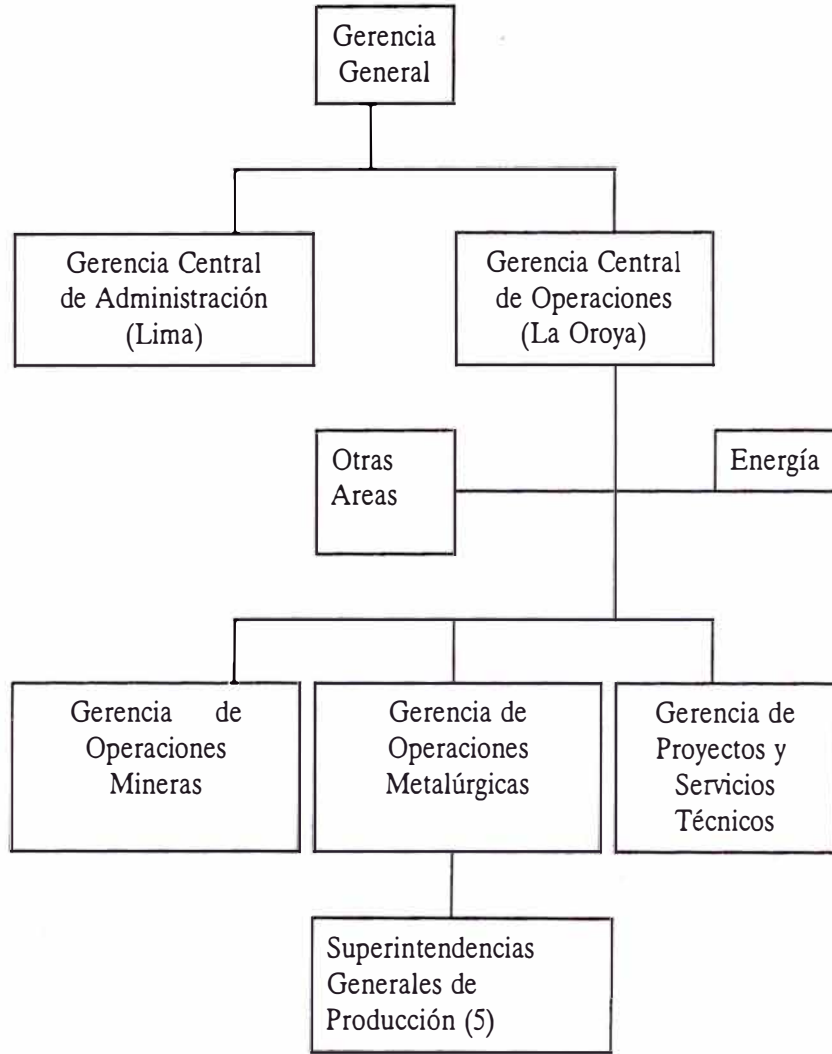
- 4.- Estructura Orgánica:  
Ver diagrama N° A. 2-1
- 5.- Líneas de producción:  
Diversas. Corporación Minera-Metalúrgica, con diversas unidades de producción que se resume a lo siguiente:
- a) El Complejo Metalúrgico de La Oroya, que reúne a tres circuitos de producción, integrados, de Cobre - Plata, Plomo - Plata y Zinc, con una producción simultánea de 11 metales (Cobre, Plomo, Zinc, Plata, Indio, Cadmio, Oro Bullón, Bismuto refinado, Selenio y Telurio Comercial y Antimonio Crudo) y 8 subproductos químicos (Acido sulfúrico, Oleum, Bisulfito de Sodio, Sulfato de Cobre, Sulfato de Zinc, Oxido de Zinc, polvo de Zinc y Trióxido de Arsénico).
- b) Seis unidades mineras con plantas concentradoras en Andaychagua (Plomo y Zinc); Cerro de Pasco (Cobre, Plomo y Zinc); Casapalca (Cobre, Plomo y Zinc); Morococha (Cobre, Plomo, Zinc y Plata); Yauricocha (Cobre, Plomo y Zinc) Cobriza (Cobre); además La Unidad Minera de San Cristobal (Cobre, Plomo, Zinc y Tungsteno) y la concentradora Mahr Tunel que trata los minerales provenientes de la Mina San Cristobal.

# DIAGRAMA N°A.1-1 : ESTRUCTURA ORGANICA DE PROCARBON

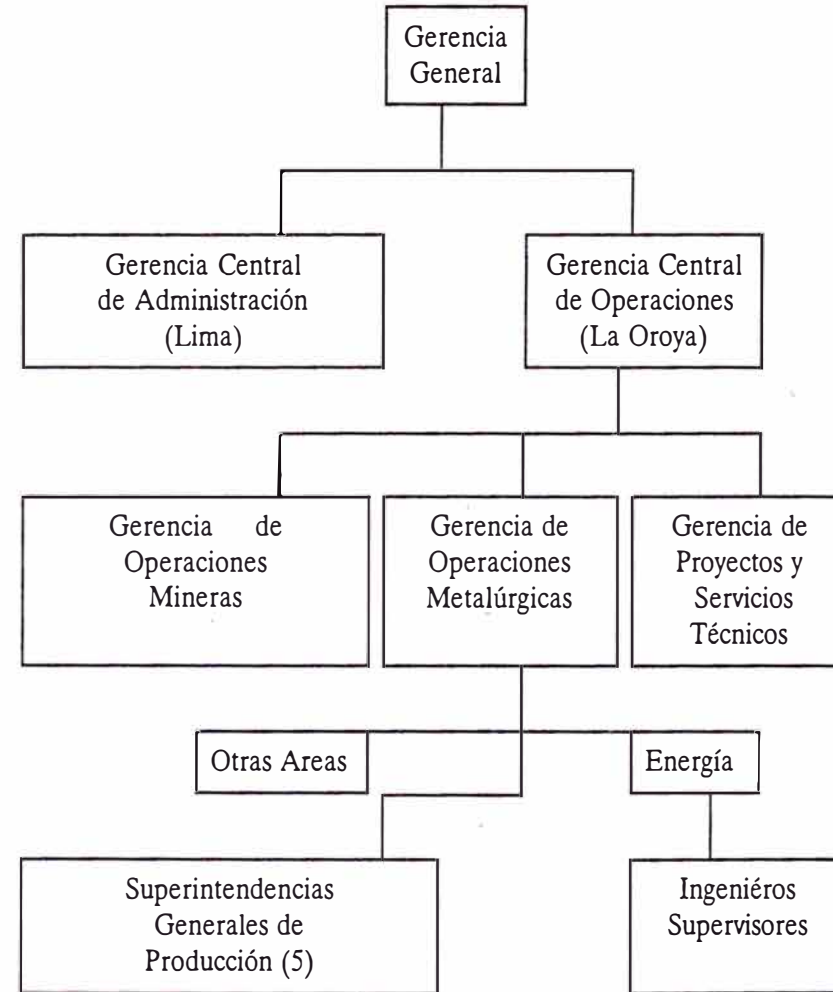


## DIAGRAMA N°A. 2-1: ESTRUCTURA ORGANICA DE CENTROMIN PERU S.A

1990 - 1991

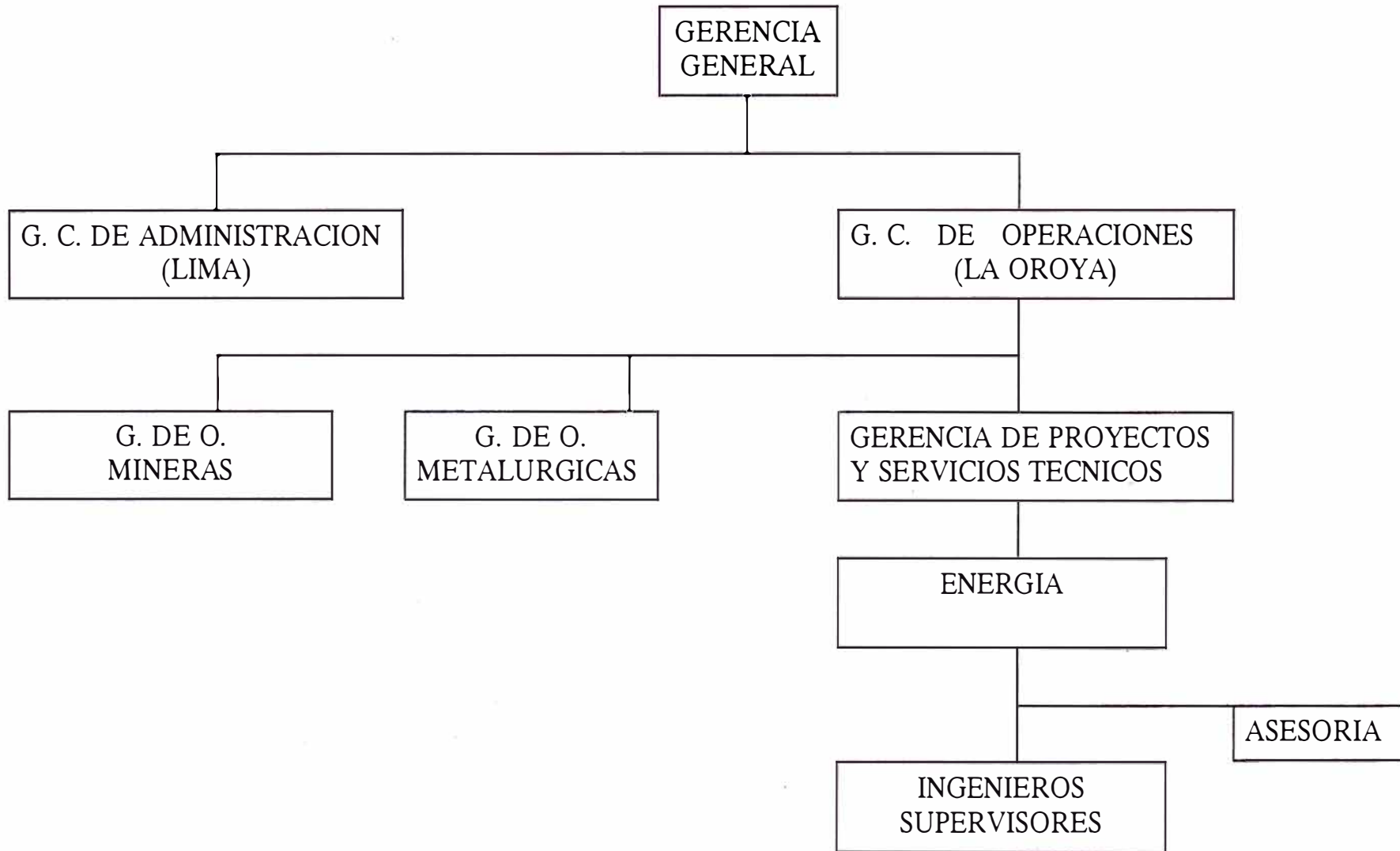


1992 - 1993



# DIAGRAMA N° A.2-1 : ESTRUCTURA ORGANICA DE CENTROMIN PERU S.A

1994 - 1995



## **B. RELACION PROFESIONAL - EMPLEADOR**

### 1.- **CONDICION:**

- |                        |            |
|------------------------|------------|
| a) En PROCARBON        | Nombrado   |
| b) En CENTROMIN - PERU | Contratado |

### 2.- **DOCUMENTOS PROBATORIOS:**

Certificados de Trabajo Adjuntos:

- a) **PROCARBON:**
  - Del 02.01.84 al 31.10.89 (documento del 31.10.89)
- b) **CENTROMIN - PERU:**
  - Del 15.11.89 al 31.12.90 (documento del 14.06.96).
  - Del 15.01.91 al 30.12.95 (documento del 20.06.96).

## **C.- TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO**

### 1.- **Cargos desempeñados:**

- a) **PROCARBON** : Ingeniero de Campo
- b) **CENTROMIN - PERU** : Ingeniero Supervisor de Energía.

### 2.- **Funciones asignadas al cargo desempeñado:**

- a) **PROCARBON :**

Esta empresa ejercía un rol promotor de la explotación y utilización del carbón mineral, como alternativa

energética en el país, y por lo tanto, las actividades se desarrollaban conjuntamente con entidades que estaban vinculadas a la investigación y desarrollo de fuentes alternativas o sustitutorias de energía, como Institutos o Universidades, y paralelamente con los usuarios finales de la energía interesados en reducir sus costos energéticos, como empresas de las industrias del cemento, ladrilleras, cerveceras, y, finalmente, el desarrollo alternativo de la sustitución del kerosene en el mercado doméstico del país.

Para ese gran objetivo de encontrar un sustituto al kerosene, utilizado como combustible doméstico, se constituyó un equipo de trabajo, dentro de los cuales el Ingeniero de Campo era la persona que asumía las funciones de supervisión de la labor de campo propiamente dicha, de los trabajos de investigación y desarrollo, así como de la comprobación de resultados de la fabricación de briquetas de carbón, diversos test de combustión, en variadas condiciones, pruebas de su utilización y rendimientos comparativos frente a los combustibles tradicionales.

b) **CENTROMIN - PERU S.A:**

Por la diversidad de operaciones y líneas de producción diversas, en Centromín Perú S.A. se creó una División de Energía con personal dedicado exclusivamente a los asuntos de la administración de la energía, es decir, a desarrollar acciones de conservación de energía y de alternativas para la sustitución o reemplazo de los



combustibles utilizados por otros de menor incidencia en los costos de producción.

Esta división dependía del nivel más alto de la organización ligada a las operaciones de producción, y dentro de ella reúne a un equipo de profesionales de disciplinas diversas denominados Ingenieros Supervisores de Energía, y que podían ser: Químicos, Electricistas, Mecánicos y Metalurgistas.

El Ingeniero Químico como Ingeniero Supervisor de Energía cumple un papel muy importante en el campo de la energía térmica y puede administrar, en su conjunto, un Programa de Administración de Energía que involucre las energías térmicas y eléctricas, energías alternativas de sustitución y energías no convencionales.

El Ingeniero Supervisor de Energía ejecuta el Programa de Administración de Energía en estrecha coordinación con el Coordinador General del Programa que en este caso tiene el nivel de un Director o Jefe de División, o de Asesor de la Gerencia en asuntos de energía.

### **RESPONSABILIDADES ESPECIFICAS**

El Ingeniero Supervisor de Energía Térmica tiene las responsabilidades siguientes:

- a) Coordinar con los Ingenieros de Turno y Jefes de Planta las acciones de conservación de energía, o de sustitución, programadas.

- b) Visitar regularmente las unidades de operación para tratar sobre la conservación de energía.
- c) Desarrollar técnicas e ideas de ahorro de energía, o sistematizar ideas aportadas por los operadores de planta y comunicarlas al Coordinador General del Programa para decidir su aplicación.
- d) Desarrollar trabajos de campo, evaluaciones energéticas, balances de energía y mediciones de diversos parámetros que permitan detectar las pérdidas de energía existentes y cuantificarlas económicamente.
- e) Identificar problemas operativos que afectan el uso eficiente de la energía.
- f) Evaluar técnica y económicamente proyectos de mejoras de instalación en la distribución del petróleo, vapor y aire comprimido.
- g) Identificar necesidades de equipos, instrumentos, y otros accesorios de la instalación, para mejorar la eficiencia del uso de los combustibles líquidos y/o gaseosos.
- h) Elaborar índices energéticos de la planta y compararlos con estándares. efectuar seguimientos para explicar las variaciones y señalar tendencias desfavorables con el fin de que se adopten medidas correctivas.
- i) Desarrollar programas de motivación entre trabajadores y personal de supervisión para el ahorro de energía.

- j) Proporcionar información técnica y ejecutar programas de capacitación.

**3.- TIEMPO DE PRESTACION DE SERVICIOS:**

**3.a PROCARBON:**

- \* Tres años en el puesto de Ingeniero de Campo.
- \* Un año en el puesto de Asistente de la Gerencia
- \* Un año en el puesto de Gerente (encargado).

TOTAL: Cinco años.

**3.b CENTROMIN PERU:**

- \* Dos años en el puesto de Ingeniero Supervisor de Energía.
- \* Tres años en el puesto de Director de Energía.
- \* Un año en el puesto de Asesor de Energía.

TOTAL: Seis años.

**D. FUNCIONES DESEMPEÑADAS QUE  
NECESITARON EL CONOCIMIENTO  
DE TÉCNICAS PROFESIONALES**

## **1. APLICACIONES DE CARBON : PROYECTO DE BRIQUETAS DE CARBON**

El presente capítulo explica el desarrollo de un Proyecto de Fabricación de Briquetas de Carbón, como combustible doméstico, considerando su fase de investigación de la tecnología más apropiada para su aplicación en el país, la selección, pruebas realizadas y su factibilidad técnica y económica, actividades efectuadas entre los años 1984 a 1987.

### **1.1 INVESTIGACION TECNOLOGICA**

El propósito de obtener un combustible doméstico en base al carbón mineral, se enmarcó dentro de la problemática del desarrollo de la minería de carbón, que desde la década de los años 60, quedó estancada a causa de los bajos precios del petróleo y sus derivados.

Por ello antes de emprender cualquier diseño o programa experimental era necesario identificar el problema del estancamiento de la producción del carbón, antecedentes de la fabricación y utilización de briquetas en el país, tecnologías empleadas etc, y proceder a un análisis y selección de la tecnología que fuera más conveniente y económica para propiciar la inserción de este combustible en el mercado nacional.

#### **1.1.1 ANTECEDENTES DE LA EXPERIENCIA PERUANA EN LA FABRICACION DE BRIQUETAS DE CARBON**

Desde los años 1880, existían compañías extranjeras que suministraban información respecto a plantas de briquetas instaladas en diversos lugares del mundo, con la técnica convencional de fabricación (1).

Los estudios de la fabricación de briquetas con carbón nacional y su utilización como combustible doméstico datan desde los años 1947.

En 1950, ya se había decidido la instalación de una planta con maquinaria disponible en el país, en los terrenos de una instalación de lavado de carbón que funcionaba en la ciudad de Chimbote, propiedad del Banco Minero del Perú; de acuerdo a las pruebas efectuadas con carbón no existía ninguna dificultad de orden técnico para producir briquetas de excelente calidad a partir de las antracitas finas del Santa y de la brea de Talara (12).

A partir de 1952 las pruebas experimentales de laboratorio para fabricación de briquetas fueron más detalladas, y se buscaba definir, principalmente, un aglomerante apropiado que diera briquetas de aceptación comercial.

En 1954 entró en funcionamiento en Chimbote la planta de Briquetas de Carbón con brea sólida bajo control del Banco Minero, produciendo briquetas ovoides, rectangulares y cilíndricas. Se fabricó, además, briquetas con melaza de caña, (19), como aglutinante, modificando el circuito original de la planta; otra compañía, la carbonera Pallasca S.A. produjo briquetas tipo doméstico con brea industrial, habiendo logrado un mercado de exportación a la Argentina.

Sin embargo, las continuas dificultades en el proceso de calcinación no podían ser superadas. La planta de Chimbote no superaba el problema aún cuando acudieron diferentes empresas consultoras extranjeras para solucionar el problema.

Los años siguientes se continuaron estudios de aglomeración de los

finos del carbón, como briquetas y como pellets, orientándola a usos metalúrgicos, inclusive, pero se iniciaba el año 1960 y no se habían emprendido acciones decisivas. Ya para entonces, el petróleo entró en una etapa de apogeo con los bajos precios de aquel entonces, lo que hizo desplazar totalmente el interés del carbón hacia el petróleo, pasando al olvido la fabricación de briquetas de carbón.

### **1.1.2. TECNICAS EMPLEADAS**

Las pruebas preliminares que se hicieron en la década del 50 para determinar las briquetas de mejor calidad, antes de fabricarlas a nivel de Planta, fueron diversas, pero las que más destacaron, fueron la fabricación de briquetas con asfalto de petróleo y, posteriormente, con melaza de caña.

#### **a) Briquetas de Carbón con Asfalto de Petróleo**

Existían dos sistemas principales que sólo diferían en la forma de incorporar el aglutinante: en el primero la brea sólida se liquefactaba por calentamiento hasta su punto de fusión y luego se efectuaba la mezcla con carbón; fue probado muchos años por la Carbonera Ancos S.A., sin éxito.

En el segundo sistema, relativamente más simple se pulverizaba la brea y luego se le mezclaba en este estado con el carbón fino seco para después calentar la mezcla y finalmente enviarla a la prensa donde se briqueteaba la mezcla resultante, Fue el método mas difundido y el único recomendable, usado posteriormente por la Planta de Chimbote y la Carbonera Pallasca. El porcentaje recomendado de asfalto era de un 7-8% en peso de la mezcla (Ver Apéndice 1).

**b) Briquetas de Carbón con melaza de caña de azúcar**

La fabricación consistía esencialmente en formar una pasta homogénea mezclando debidamente carbón en polvo de granulometría definida y fija previamente desecado a 2.5% de humedad con melaza "tal cual" o sea con el porcentaje de agua con que la suministraban los ingenios azucareros, como subproducto de la refinación del azúcar.

La pasta se desecaba luego hasta 4.3% de H<sub>2</sub>O, se comprimía y dividía en la forma de pequeños aglomerados ovoides ("2x1" y 55 gr. de peso), en una prensa de rodillos, y finalmente se secaba y se recocía el producto, en un horno de tipo túnel a la temperatura máxima de 350°C Finalmente, a la salida del horno, enfriados, almacenados y distribuidos al mercado (22).

**c) Planta de briquetas de Chimbote**

Esta planta fue puesta en operación por el Banco Minero del Perú en el año 1954. Fue diseñada para fabricar briquetas tipo cojín en una prensa rotatoria, con una capacidad superior a 4 ton/hora, pero se disponía además, de una prensa sin instalar de 15 ton/hora de capacidad.

Originalmente el aglomerante usado fue una mezcla de 6% de melaza y 3% de brea, también se empleó brea sólida como único aglutinante; 7600 ton. de briquetas fueron elaboradas con carbón de la Mina "La Limeña", principalmente de los finos de flotación, unas 200 ton. fueron embarcadas hacia Argentina pero la aceptación fue indiferente y algunas fueron vendidas localmente, quedaron 6,200 ton. sin vender, maltratadas con el tiempo y casi la mitad invendible.

Las investigaciones en la composición de la briqueta fueron efectuadas



por diversas compañías mineras. La fórmula derivó en usar como aglutinante, solamente melaza de caña. La proporción fue de 8-10% de melaza, (en base seca) con finos de carbón en la proporción de tamaño de 60% de finos de flotación, 20% de N°5 (3/64x40mesh) y 20% de N°4(3/32x3/64), y con el proceso de fabricación convencional.

Continuando un largo período de ensayos, la composición de las briquetas y los procedimientos de secado y prensado fueron estandarizados. Pruebas de resistencia a la caída (Shatter - test), al tamborileo, (Tumbler-test), a la presión y permeabilidad demostraron que las briquetas resultantes eran duras y resistentes al medio ambiente, por efecto de la "caramelización" del contenido de melaza (22).

En los Apéndices 2 y 3 se muestran los datos típicos de la Planta así como las características de las briquetas que se fabricaban, conocidas comercialmente con la marca "Chimú".

Respecto a los hornos de carbonización, se empleaba un horno túnel de 35m. de largo y de ladrillo corriente, Pero éstos eran un enlace débil en el proceso, puesto que frecuentemente ocurrían paradas imprevistas y el calentamiento era difícil de controlar. La carga avanzaba mecánicamente en el horno, transportada en vagonetas, pero frecuentemente se descarrilaban en el interior de los túneles.

Debido a estos factores se pensó en un proceso de carbonización diferente, utilizando un horno túnel horizontal con correa de transmisión con malla de fierro, el cuál fue construido en 1957. Este problema estuvo siendo estudiado intensivamente. Hubo también la posibilidad de que la carbonización fuera eliminada y tengan siempre

una capa resistente al medio ambiente, rociándolas con algo de las mezclas antidesempolvantes, los cuales eran usados, entonces, para carbones tamaño nuez y guisantes, en los Estados Unidos.

La planta de briquetas, fue en realidad una planta piloto que sirvió para desarrollar el proceso, orientando el trabajo hacia la obtención de índices típicos de calidad.

La instalación original se hizo aprovechando maquinaria disponible con excepción de la prensa briqueteadora que no había sido especialmente diseñada para la fabricación de briquetas de melaza. Esta maquinaria fue adaptada con mecanismos de manufactura casera que dieron acopamiento al conjunto.

**d) Briquetas de Carbón - Modelo Coreano**

La oportunidad de una relación de cooperación técnica entre Perú y Corea del Sur entre los años 1984 y 1987 permitió contar con información técnica y referencias comerciales de una industria de carbón muy desarrollada en ese país.

La industria del carbón en Corea (15) incluye una industria de briquetas de carbón, con una producción anual, en promedio, para consumo doméstico, de más de 20 millones de ton de briquetas por año.

Se encontró que el modelo de briqueta coreana, con perforaciones, desarrollada durante muchos años, era de uso común como combustible doméstico con las siguientes características : un bloque cilíndrico de 15cm de altura y 14,2 cm de diámetro, de 3,6kg de peso y con 22 agujeros paralelos a la generatriz de cilindro; el material que

se emplea es antracita tal como sale de la mina, con alto contenido de cenizas y con un contenido calorífico que oscila entre 4200 a 5000 Kcal/kg. (Ver Apéndice 4)

## **1.2 SELECCION DE TECNOLOGIA**

Una tecnología se selecciona en base a diversas consideraciones, entre las que se pueden citar

Antecedentes de tecnología empleadas.

Análisis de las bondades y desventajas de cada tecnología.

Exito comercial de tecnologías foráneas.

Similitud de condiciones y/o de materiales.

En este proyecto, han concurrido los cuatro factores mencionados, concluyéndose lo siguiente

- a) En el Perú se experimentó a nivel comercial las tecnologías de briquetas de carbón con asfalto de petróleo y con melaza de caña, sin éxito.
- b) Las tecnologías experimentadas no ofrecían posibilidades de optimizar la fabricación de briquetas, sin afectar los costos; las desventajas eran mayores que las ventajas.
- c) Por información técnica revisada (23), se conocían detalles de la tecnología de fabricación de briquetas en Corea del Sur. Se conocía de una industria muy desarrollada, casi única en el mundo, además de la existente en la China, así como de su gran utilización, desde la década de los años 40.

- d) Se comprobó que la composición química de la antracita peruana es similar en muchos aspectos a la antracita coreana; sin embargo el carbón coreano es de menor calidad, con alto contenido de cenizas, pero con buenas propiedades aglutinantes que permiten una compactación óptima de las partículas en el briqueteado.
- e) Se comprobó que el tipo de carbón usado en Corea era de las mismas características que el carbón abandonado en las canchas de las minas del Perú (conocido como "CISCO") y que no tenía mercado por su alto contenido de finos de carbón y de cenizas.
- f) Se comprobó que la briqueta modelo coreano, no requería de ningún aglutinante especial, ya que las cenizas funcionaban como aglutinante y que para el caso del Perú, era similar, excepto que el carbón es de consistencia dura, lo que dificulta el fabricar briquetas empleando carbón solo. Sin embargo este problema se resolvía agregando material arcilloso al carbón en proporciones que había que determinar en pruebas experimentales.

Por los factores aquí mencionados, se decidió desarrollar un programa de pruebas utilizando la tecnología y la experiencia de Corea del Sur. (Ver Apéndice 4)

### **1.3 RECONOCIMIENTO DE MATERIALES - MINAS DE CARBON**

Con el objetivo de identificar y solucionar la materia prima más adecuada para las pruebas iniciales, una etapa importante del Proyecto ha sido la de efectuar un reconocimiento del estado de situación de las minas de carbón, el nivel de producción, nivel del reservas, tecnologías

empleadas en la explotación, así como el reconocimiento físico del carbón desde que sale de la mina.

Para ello, se conforman equipos de trabajo que deben visitar las principales minas de carbón. Para el presente caso, se conformó el equipo de trabajo con un Ingeniero Químico, un Ingeniero de Minas, un Ingeniero Geólogo y un Muestreador.

En los reconocimientos de campo se determinó que en la minería de carbón en el Perú, existía una producción principalmente de nivel artesanal, seleccionándose el carbón por rangos de tamaños mayores a 1/4" para su distribución en el mercado; sin embargo, el carbón de tamaño inferior a 1/4" con un contenido de finos que representaba, en la mayoría de los casos, hasta el 50% de la producción, no era aceptado en el mercado y por lo tanto se quedaba en las canchas de las minas.

Se pudo comprobar además que esta situación era desfavorable para el minero, por cuanto tenía un subproducto que no podía vender por falta de mercado.

En las visitas realizadas a las diferentes minas seleccionadas, se tomaron muestras de carbón, se observó el estado de las vías de acceso, distancia entre las minas y los principales centros poblados y otros aspectos de importancia para el proyecto.

### **Minas de Carbón**

El Perú tiene una gran cantidad de recursos de energía fósil en la franja occidental de los Andes, desde los yacimientos de carbón de

Alto Chicama pasando por el departamento de Ancash, hasta los yacimientos de Oyón y de Jatunhuasi pasando por el Departamento de Lima (18).

Muchas de las vetas de carbón conocidas son de antracita de buena calidad cuyo valor calorífico oscila entre los 6 000 y 7 500 Kcal/Kg en el lado norte del país (Alto Chicama), pero gradualmente cambia hacia carbones semi-bituminosos en el yacimiento carbonífero de Oyón y hacia el Sur en Carbones bituminosos; pocas minas tienen carbón de pobre calidad con vetas angostas para el minado.

La antracita peruana está generalmente asociada a capas delgadas de pizarras carbonosas, las cuales son muy duras y no se pulverizan con facilidad en la molienda.

Existen muchas estimaciones realizadas sobre las reservas de carbón, pero todos coinciden en que éstas no son menores a los 500 millones de toneladas, que el tiempo de vida de muchas áreas carboníferas será más de 200 años si el nivel de producción mínimo fuera de 1200 toneladas por día.

Sin embargo, toda la gente involucrada en la minería de carbón ha estado sufriendo durante mucho tiempo, no sólo de las fluctuaciones del mercado, sino también por la reducida demanda del mercado nacional representado principalmente por SIDERPERU, fábricas de ladrillo, fundiciones y otras pequeñas industrias que han requerido no más de 40 000 toneladas por año, en promedio.

De los estudios realizados al respecto, se concluyó que el carbón peruano debería ser utilizado no sólo para los propósitos de

combustible doméstico, sino también para toda clase de requerimientos de energía en la industria, en las plantas de cemento, plantas de generación de energía eléctrica, calderos de generación de vapor, industria del tabaco, etc.

El cuadro N°1, muestra la ubicación y características principales de las minas de carbón visitadas para el desarrollo de este proyecto.

## CUADRO N°1

### MINAS DE CARBON INVESTIGADAS

Leyenda : U/G ; underground(subterráneo)

O.P ; open pit (cielo abierto)

Nombre de la mina	Altura m.s.n.m	Espesor m.	Método Minado	Dip	Drift	Producción Mensual (ton)	Fuerza laboral	Capac camion (ton)	Kcal ---- Kg	Lugar de Distribución	Distancia (Km)
Rio Negro	1,600	4.5	O.P	45°	-	6,000	66	10	7,000	Chimbote	120
		1.8									
Cocobal	1,200	0.8	U/G	70°	850	3,000	5	10	7,000	"	120
Eclipse	1,900	25	"	45°	200	300	5	10	6,500	"	141
Sempreviva	1,600	25	"	45°	200	100	5	10	6,500	"	140
La Limena	800	1.5	"	50°	800	-		20	5,700	"	140
Heldmaien	800	1.5	"		30	600	50	20	5,700	"	120
Roxana	800	1.5	"	10°	800	20	25	20		Lima	120
Caraz	2,400	2.0	"	60°	500	400	20	20	6,000	Lima	550
Mancos	2,400	1.5	"	25°	100	-	6	-		Chimbote	213
Cazuna	4,200	0.8	"	70°	100	3,000	30		6,200	Lima	255
Isabela	2,100	1.0	"	70°	80	150	18		5,000	Lima	215
Matlache	1,200	0.8	"	60°	25	200	20	12	5,500	Trujillo	70
				33°						Lima	
Aegría	900	0.8	"		200	200	20	12	6,000	Lima	70
				33°						Trujillo	
Leguia	900	2.5	"		200	500	6	20	7,500	"	116
				33°							
Cesar Segundo	900	2.0	"		600	1,000	-	20	7,500	"	116
				33°							



#### **1.4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA FABRICACION DE BRIQUETAS DE CARBON**

Los trabajos experimentales se realizaron en base a un Convenio de Cooperación Técnica entre los gobiernos de Perú y de Corea del Sur, con el equipo de profesionales que a continuación se indica.

- \* Sr. Yang Jung Il  
Ingeniero Químico, experto coreano en tecnología de briquetas de carbón de Korean Institute of Energy and Resources, (KIER), Korea.
  
- \* Sr. Roger Incio Sánchez  
Bachiller en Ingeniería Química, Ingeniero de campo de la Empresa Promotora del Carbón (PROCARBON S.A) designado como Asistente Técnico en la contraparte nacional.
  
- \* Sr. Raúl Manchego  
Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, Ingeniero de campo, asistente en la contraparte nacional.
  
- \* Sr. Raúl Pastor  
Ingeniero de Minas, encargado del Laboratorio de Minas de la Universidad Católica del Perú.
  
- \* Sr. Christian Ezpinoza  
Bachiller en Ingeniería Mecánica, Ingeniero de campo, en representación de la Universidad Católica del Perú.

Todo el programa de pruebas y trabajos experimentales se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de la Facultad de Minas de la Universidad Católica del Perú, por Convenio suscrito entre

PROCARBON y la Pontificia Universidad Católica del Perú.

#### **1.4.1 PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LOS ENSAYOS**

El procedimiento seguido con las muestras de antracita para los ensayos se muestra en el diagrama N° 1.

El trabajo se realizó con muestras de carbón antracítico de diferentes calidades, cuyos detalles se dan a continuación

##### **A) Area del Santa**

###### **a) Muestras de la Mina Cocabal**

Carbón en bruto de alta calidad

Carbón de calidad media tamizado a <10mm

Carbón de baja calidad tamizado a <25mm.

Carbón de una de las Galerías llamada "El Toro, conteniendo carbón y pizarra.

###### **b) Muestras de la Mina "La Limeña"**

Carbón de calidad media, tomado a 100m. en túnel.

Carbón de calidad media, tomado a 1000m. en túnel.

##### **B) Area de Alto Chicama**

###### **Muestra de la Mina Tres Amigos**

Carbón suave de alta calidad (Manto N° 05), tamizado a <25mm.

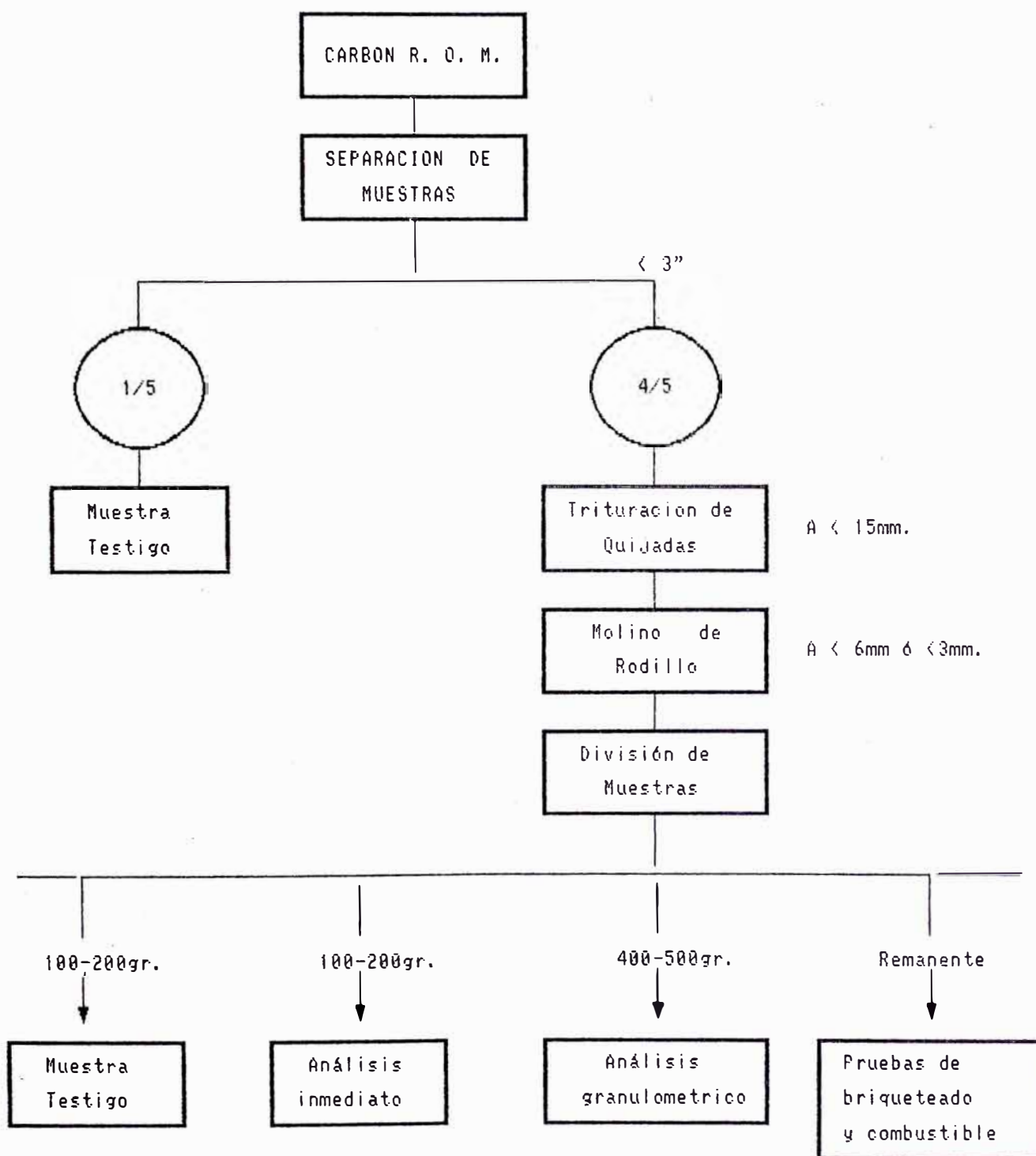
Carbón duro de alta calidad (Manto N° 04), tamizado a <25mm.

##### **C) Ladrillera Huachipa**

Arcilla empleada en la fabricación de ladrillos.

# DIAGRAMA No. 1

## PREPARACION DE MUESTRA PARA PRUEBAS DE BRIQUETEADO



## 1.4.2 ANALISIS QUIMICO

Las pruebas iniciales de briqueteado y combustión, se realizaron con nueve muestras seleccionadas del total de carbón muestreado en canchas de las minas respectivas.

El análisis inmediato de carbón se realizó en el laboratorio de análisis químico de la sección de Ingeniería de Minas de la Universidad Católica del Perú. Cada muestra de carbón fue tamizada con un juego standard de mallas ASTM, montado sobre una vibradora de tamices, con un juego standard de mallas ASTM, montado sobre una vibradora de tamices, sometiendo a la muestra a unos 10 minutos de vibración uniforme.

En el cuadro N° 2, se presentan los resultados de análisis químico.

### IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS DE CARBON

#### MINAS DEL SANTA

M1	...(*)	Mina de Cocabal - Carbón de alta calidad
M2		Mina de Cocabal - Carbón de baja calidad
M3		Mina de Cocabal - Galería "El Toro"
M4		Mina de Cocabal - Carbón de calidad intermedia (pulverizado)
M5		Mina La Limeña - calidad intermedia

### MINA DE ALTO CHICAMA - TRES AMIGOS

M6		Carbón del manto N° 05
M7		Carbón del manto N° 04
M8		Carbón con pizarra del manto N° 04

M9 Carbón del manto N° 05

\* Nombre de la Mina : "Centenario" o Virgen del Camino N° 37"

### **1.4.3 EQUIPOS Y ACCESORIOS UTILIZADOS**

#### **(a) Preparación mecánica de las muestras**

Trituradora de Quijadas : Law Crusher (tamaño 3¼ - 4½) Deven Equipment Co England.

Molino de Rodillos, Crushing de Sturtebant (London y Manchester).

Juegos de Mallas ASTM

Cuarteador

#### **(b) Briqueteado y Secado**

Cilindro de 160 mm. de diámetro con dispositivo de aplicación de presión y plato con pines de acero removibles para las perforaciones (22) y para el moldeado de las briquetas.

El diagrama N° 2, muestra el molde cilíndrico construido especialmente : existente.

Prensa hidráulica : existente.

Horno de secado : existente, con sistema de ventilación forzada.

#### **(c) Horno de Combustión**

Las referencias técnicas de Corea (19) nos indicaban el empleo de dos tipos de hornos para pruebas de combustión de las briquetas, fijos y móviles; en ambos casos se requiere de un cilindro refractario con las siguientes características:

Dimensiones : mm.

Peso de Briqueta	CILINDRO REFRACTARIO			
	Diámetro	Espesor	Diámetro del ducto de admisión de aire	altura
3.6 Kgr.	160	> 30	55	300

Con estas referencias se diseñó y construyó el horno de prueba que se muestra en el diagrama N°3 y sus accesorios para el paso de aire en el diagrama N°4.

#### (d) Iniciador de la Combustión

Para la primera etapa de quemado de la briqueta de carbón, fue necesario contar con una briqueta de encendido, la misma que es de uso común en Corea. Esta contiene materiales carboníferos y algunos aditivos químicos, pudiendo encenderse fácilmente con un fósforo.

A falta de este iniciador, las briquetas de carbón también pueden ser encendidas con carbón vegetal o con pedazos pequeños de leñas o maderas. Las dimensiones de la briqueta de encendido son las mismas de la briqueta normal, excepto que su altura es de sólo 30mm. La composición típica para la fabricación de esta briqueta de encendido se adjunta con el Apéndice 5.

#### (e) Tenazas

Las tenazas son también necesarias para el manipuleo de la briqueta y de la ceniza. Las dimensiones generales y la forma de las tenazas se muestran en el Apéndice 4.

## CUADRO N°2

### RESULTADOS DE LABORATORIO ANALISIS APROXIMADO TAL CUAL DE MUESTRAS DE CARBON PARA ENSAYOS DE BRIQUETEADO

MUESTRA N°	CARBON FIJO (%)	MATERIAL VOLATIL (%)	CENIZAS (%)	HUMEDAD (%)	PODER CALORIFICO kcal/kgr.		
					TAL CUAL	DB	DAF
M1	85.138	2.741	6.513	5.608	5292	5696	6022
M2	60.685	5.152	29.126	5.037	3400	3580	5164
M3	59.924	5.603	28.899	5.574	3528	3736	5384
M4	67.938	3.853	22.603	5.557	4036	4273	5618
M5	60.034	7.911	23.154	8.901	3567	3915	5250
M6	87.42	2.538	6.717	3.325	5379	5553	5968
M7	83.235	2.299	9.838	4.628	5379	5640	6289
M8	58.224	4.208	33.860	3.628	2727	2832	4368
M9	88.621	1.732	5.857	3.790	5714	5939	6324

DB : Libre de humedad (base seca)

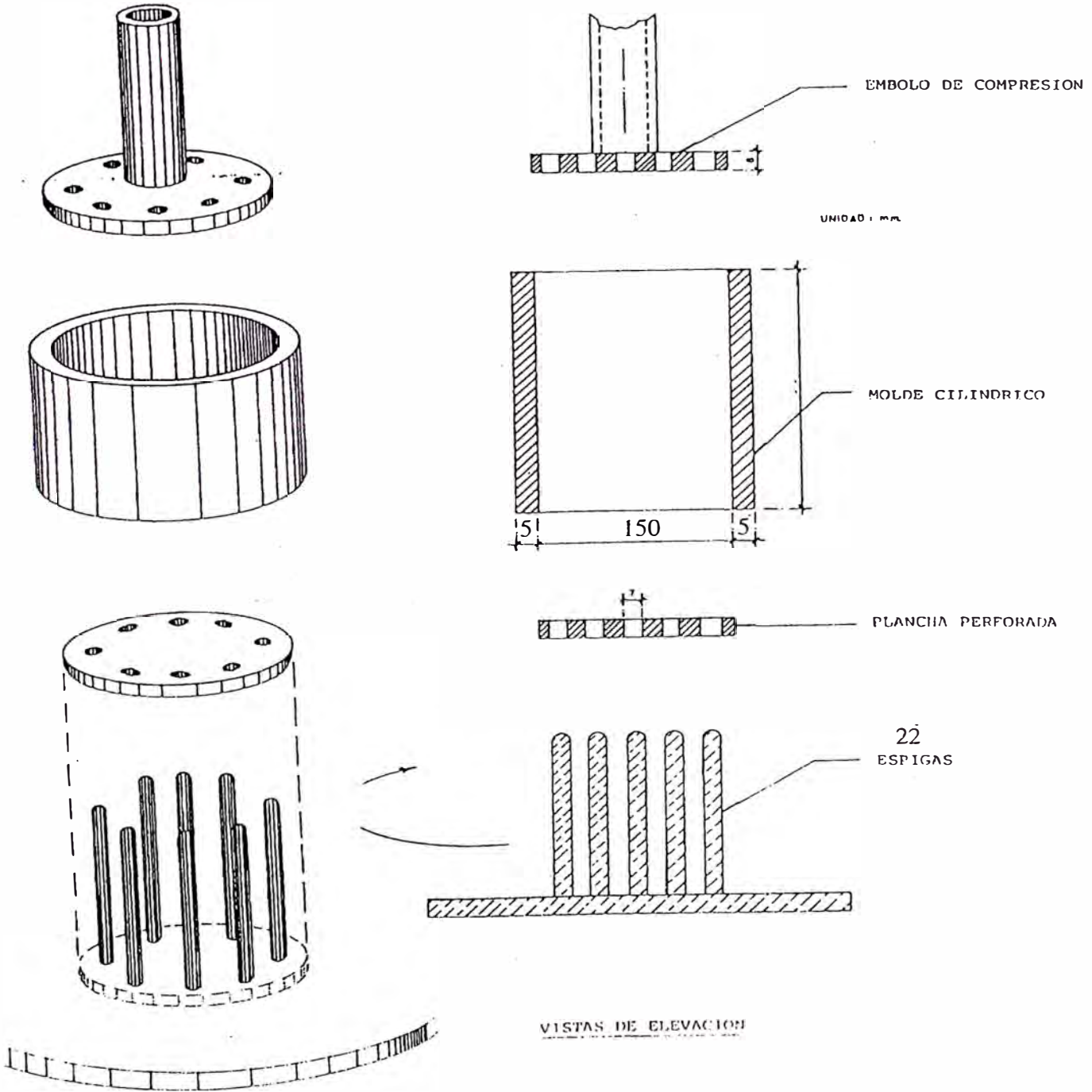
DAF.: DRY ASH FREE

(LIBRE DE HUMEDAD Y CENIZAS)

# PRENSA Y MOLDE PARA PRODUCIR BRIQUETAS DE CARBON CON PERFORACIONES

(Modelo Coreano)

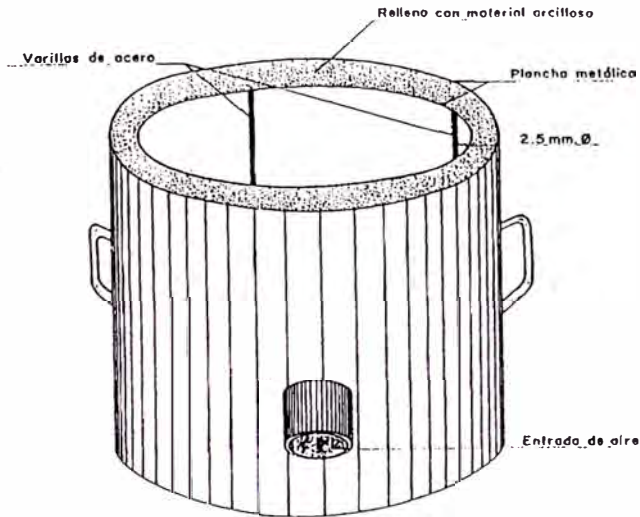
## Diagrama N°2



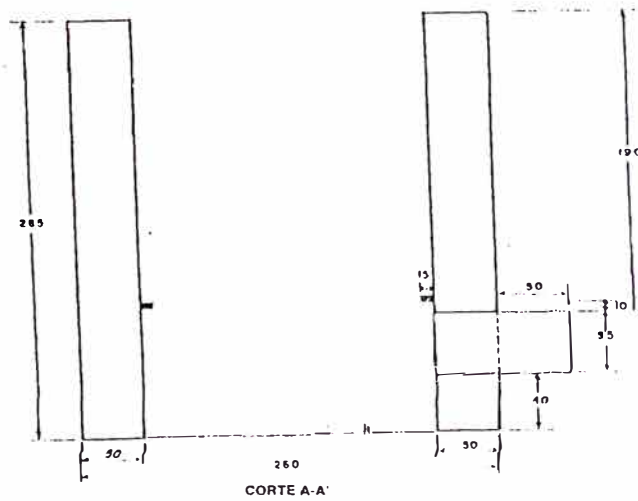
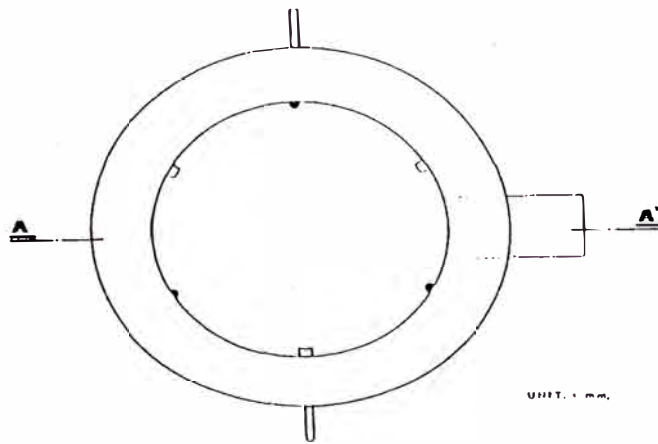
VISTA ISOMETRICA  
DE CONJUNTO



# Diagrama N°3



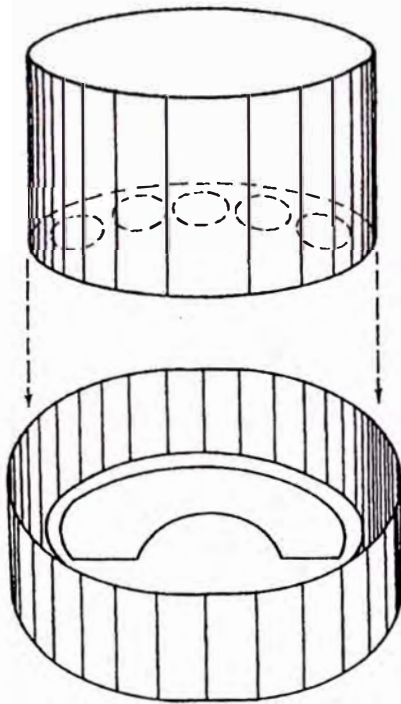
VISTA GENERAL DEL HORNO DE COMBUSTION



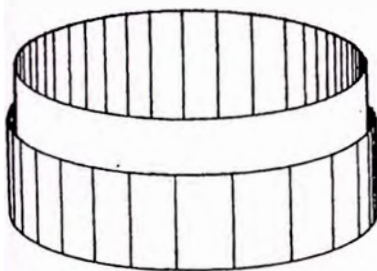
# CONTROL DE AIRE

UNID. : m.m.

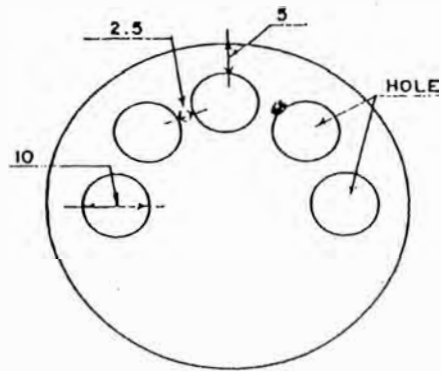
## Diagrama N°4



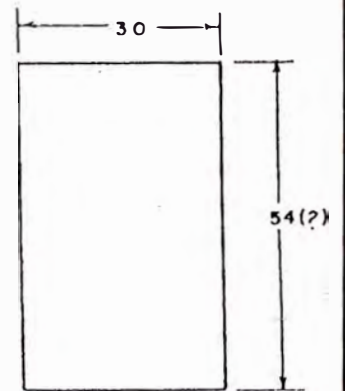
VISTA ISOMETRICA



VISTA GENERAL

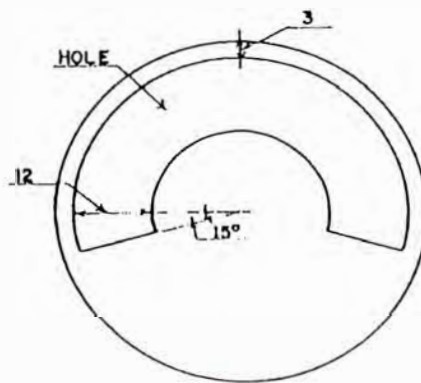


PLANTA

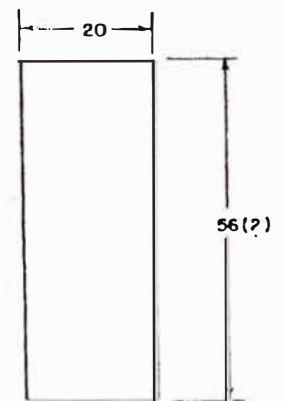


VISTA LATERAL

(CILINDRO INTERIOR)



PLANTA



VISTA LATERAL

(CILINDRO EXTERIOR)

#### 1.4.4 PRUEBAS DE BRIQUETEADO Y COMBUSTION

**a) Procedimiento seguido**

Por los resultados obtenidos en los análisis químicos granulométricos, se estimó que la mayoría de los carbones a ensayar, por su alta calidad, tendrían que ser mezclados con material arcilloso antes de proceder al briqueteado.

El esquema general para el análisis de la fabricación de briquetas se llevó a cabo como se indica en el diagrama N°5

**b) Pruebas de Briqueteado : Ver Cuadro N° 4**

**(1) Mezclado del carbón**

En el cuadro N°3 se consignan las muestras que fueron preparadas, previamente al mezclado respectivo.

Las briquetas de carbón sólo, se prepararon con las muestras de carbón que contenían pizarra o un alto porcentaje de agua que varió entre 8.5 y 10%. La operación de mezclado fue realizada manualmente hasta homogenizar la mezcla.

**(2) Briqueteado del carbón**

Se preparó 2 Kg. de muestra para cada briqueta, vaciándose dentro del molde cilíndrico y aplicándole una presión de 6 toneladas.

La presión de briqueteado empleada en Corea es mayor que este valor, pero el molde con el que se contaba no permitió superar las 6 toneladas.

**(3) Secado de las Briquetas**

Las briquetas de carbón se secaron durante 2 ó 3 horas en el horno de secado guardándose las briquetas secas durante toda la noche.

**(4) Medición de la Resistencia de la Briqueta**

Por no contarse con las facilidades para estas pruebas, se optó por evaluar las condiciones de manipuleo de las briquetas, haciendo uso de una tenaza manual.

Los resultados de las pruebas de briqueteado están listados en el cuadro N° 4.

**c) Pruebas de combustión: Ver Cuadro N°4-A**

**(1) Gravedad específica aparente**

Antes de realizar las pruebas de combustión, se midió el diámetro y la altura de cada briqueta, calculándose la gravedad específica aparente con la siguiente ecuación:

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{\text{Peso de la Briqueta}}{\text{Volumen neto de la briqueta (*)}}$$

(\*) Excluyendo el volumen ocupado por los agujeros.

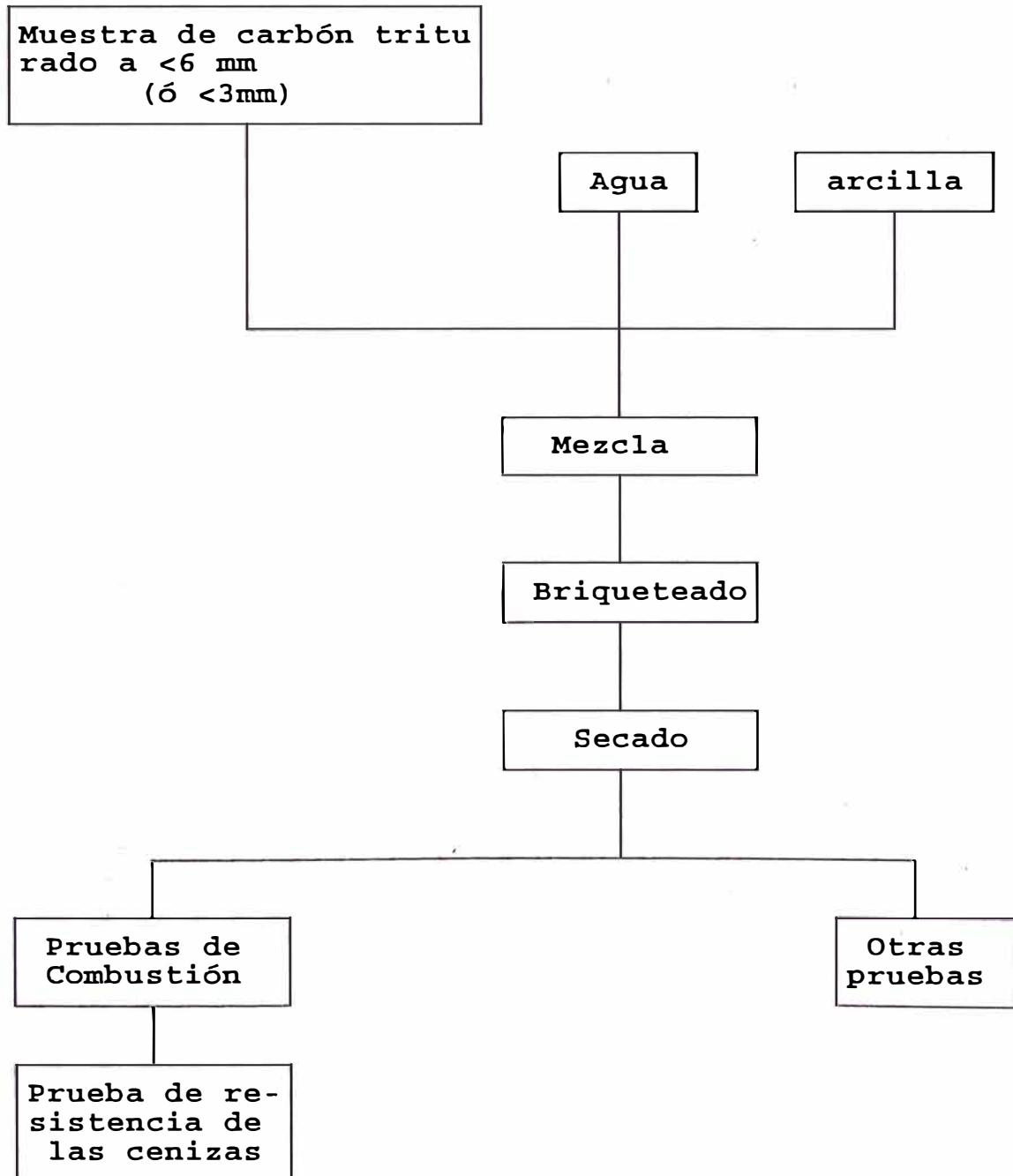
**(2) Tiempo de encendido**

El tiempo de encendido se mide desde la colocación de una nueva briqueta, hasta el momento en que ésta es capaz de mantenerse en combustión.

Para esto, el agujero de admisión de aire en el horno se abre completamente, colocándose la nueva briqueta sobre la ceniza de la anterior.

## DIAGRAMA N°5

### PROCESO SEGUIDO EN LOS PROCESOS DE BRIQUETEADO Y COMBUSTION



### CUADRO N°3

#### MUESTRAS PREPARADAS PARA BRIQUETEADO Y COMBUSTION

MUESTRA	CARBON		ARCILLA Kg.	AGUA cc.
	MINA	Kgrs.		
M1 (*)	Cocabal	1,3	0,7	200
M2 A	Cocabal	2,0	-	200
M2 B	Cocabal	2,0	-	170
M3	Cocabal	2,0	-	200
M4	Cocabal	2,0	-	200
M4 (*)	Cocabal	1,3	0,7	200
M5	Limeña	1,9	0,1	200
M5 A	Limeña	2,0	-	170
M5 B	Limeña	2,0	-	170
M6	Tres Amigos	2,0	-	200
M6 (*)	Tres Amigos	1,3	0,7	200
M6 (**)	Tres Amigos	1,3	-	200
M7	Tres Amigos	2,0	-	200
M7	Tres Amigos	1,3	0,7	200

(\*) 70% carbón con 30% arcilla

(\*\*) mezclas de carbones

## CUADRO N°4

### RESULTADOS DE PRUEBAS DE BRIQUETEADO

BRIQUETA	PRUEBAS DE BRIQUETEADO			
	ALTURA	VOLUMEN NETO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	RESISTENCIA DE LA BRIQUETA
	mm.	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	manipuleo
M 4	90	1243.5	1.61	Regular
M 3	93	1285.0	1.56	Buena
M 4(*)	82	1133.0	1.77	Muy buena
M 1 (*)	89	1230.0	1.63	Buena
M 2 A	93	1285.0	1.56	Mala
M 2 B	90	1243.0	1.61	Mala
M 5 A	91	1257.5	1.59	Mala
M 5 B	95	1312.0	1.52	Muy mala
M 5	95	1312.0	1.52	Regular
M 6	82	1133.0	1.77	Regular
M 6 (*)	90	1243.5	1.61	Muy buena
M 6 (**)	no logró consistencia		----	-----
M 7	83	1146.0	1.75	Regular
M 7	82	1133.0	1.77	Muy buena

(\*) MEZCLAS : 70% carbón, 30% arcilla

(\*\*) MEZCLAS DE CARBONES

**CUADRO N°4 A**  
**RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMBUSTION**

MUESTRA	PRUEBAS DE COMBUSTION				PODER CALORIFICO (Kcal/Kgr)		
	TIEMPO DE ENCENDIDO	TIEMPO DE QUEMADO	RESISTENCIA DE LAS CENIZAS	EFICIENCIA DE QUEMADO	SEGUN ANALISIS DEL CARBON		
	(Minutos)		(Manipuleo)		Tal cual	DB	DAF
M 1	30	2h 20m	muy mala	muy buena	4036	4273	5618
M 2 A	30	7h 00m	mala	muy buena	3528	3736	5384
M 2 B	50	3h 00m	muy buena	baja	2825	2991	3933
M 3	30	5h 40m	mala	buena	3704	3924	4215
M 4	40	5h 40m	mala	buena	3400	3580	5164
M 4	40	5h 40m	mala	buena	3400	3580	5164
M 5	--	-----	muy mala	no manipulable	3567	3915	5250
M 5 A	--	-----	muy mala	no manipulable	3567	3915	5250
M 5 B	45	3h 35m	regular	buena	5369	3719	4988
M 6	45	5h 15m	regular	baja	3389	5553	5968
M 6	45	5h 15m	muy buena	baja	3758	3887	4178
M 6	40	5h 00m	muy mala	buena	4576	4737	5488
M 7	40	5h 20m	regular	baja	5379	5640	6289
M 7	45	5h 20m	muy buena	baja	3765	3948	4402

DAF : dry ash free (libre de humedad y cenizas)

DB : base seca



## CUADRO N°5

### RESUMEN COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS EN PRUEBAS DE BRIQUETEADO Y COMBUSTION

MINA DE CARBON	TAMAÑO DE BRIQUETAS				ADICION DE ARCILLA (%)	TIEMPO DE COMBUSTION (hrs)		RESISTENCIA DE BRIQUETAS	RESISTENCIA DE CENIZAS
	VALOR CALORIFICO Kcal/Kgr)+	DIAM. (mm)	ALTURA (mm)	PESO (Kgr)		DUCTO DE AIRE TOTAL ABIERTO	CON 2 ORIFICIOS ABIERT.	CAPACIDAD DE MANIPULEO	
COCABAL	5,200	148	93	2.0	0	5.50	--	MALO	MALO
LA LIMEÑA	5,000	148	90	2.0	5	3.35	--	REGULAR	REGULAR
TRES AMIGOS	4,200	148	83	2.0	35	5.20	--	MUY BUENO	MUY BUENO
COCABAL	4,200	148	14.3	3.6	30	6.40	19.00	MUY BUENO	MUY BUENO
KOREA	4,600	150	142	3.6	0	6.00	18.20	MUY BUENO	MUY BUENO

(+) SEGUN ANALISIS DAF, (Libre de humedad y cenizas)

**(3) Tiempo de quemado**

Es el tiempo requerido para reemplazar una briqueta de carbón por otra. En las pruebas realizadas, el agujero de admisión del horno se abrió completamente, sin controlarse la entrada de aire.

**(4) Resistencia de las Cenizas**

Se mide con un equipo especial; para nuestro caso pudimos evaluar la resistencia de las cenizas observando si era o no posible manipularlas con una tenaza de fierro.

**1.4.5 EVALUACION DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos por el equipo de profesionales mencionados en la sección 1.4 y resumidos en el cuadro N°4 demuestran la dificultad de hacer una briqueta con carbón antracítico peruano sólo; los resultados óptimos han sido obtenidos únicamente en las briquetas elaboradas con mezcla de material arcilloso.

En la proporción debida, el aglutinante arcilloso es entonces recomendable para garantizar una resistencia efectiva tanto de la briqueta como de las cenizas puesto que las briquetas, que son mezcla de 70% de antracita y 30% de arcilla, resultaron resistentes al manipuleo, a diferencia de las otras muestras. El poder calorífico de estas briquetas, aparentemente bajos, es debido a que el material arcilloso disminuye el poder calorífico de la briqueta por lo cual no debe pasar de un 30% el contenido de arcilla; en carbones más pobres es decir con un alto contenido de cenizas, la proporción de arcilla debe ser menor, puesto que disminuiría demasiado su valor calorífico.

Las alturas de las briquetas resultan diferentes dependiendo, por un lado, de la manipulación de la mezcla en el molde de briquetas, el

arranque en la presión y posterior reacomodo con arcilla; una menor altura es la característica por el menor contenido de carbón siendo además las partículas de arcillas fáciles de penetrar y conglomerarse con el carbón, por lo que resultaron siempre con una gravedad específica mayor.

Es importante el valor de la gravedad específica por su relación con la resistencia tanto de la briqueta como de las cenizas, y en el supuesto de que la altura es función del contenido de arcilla, se cumplirá lo siguiente:

Sin arcilla	[ - Mayor Altura - Mayor Volumen ]	Menor gravedad específica
Con Arcilla	[ - Menor altura - Menor Volumen ]	Mayor gravedad específica

El tiempo de encendido de las briquetas ensayadas, fluctuó entre 30 y 50 min, en ambiente abierto y empleando carbón vegetal y trocitos de madera para iniciar la combustión; en ambiente cerrado el tiempo de encendido es mayor.

El tiempo de duración de la briqueta emitiendo calor, fue en promedio, de 5 horas, manteniendo el agujero de ventilación del horno completamente abierto. Una briqueta coreana de 3.6 Kg. de peso, de aproximadamente 4500 Kcal/Kg, puede combustionar durante 6 horas en las mismas condiciones (9); si se controla la admisión de aire, su duración puede exceder las 10 horas.

Para la fabricación de este tipo de briquetas no se requiere de un carbón de alta calidad. Un poder calorífico promedio de 4200 Kcal/Kg. permitirá garantizar una adecuada resistencia, tanto de la briqueta como de las cenizas.

Lo anterior puede sintetizarse en lo siguiente:

Si el poder calorífico de la briqueta es muy alto la resistencia de las cenizas resultará muy baja, lo que impedirá su manipuleo con las tenazas.

Por otro lado, si la briqueta de carbón es de baja calidad tanto su encendido como su combustión resultaran difíciles y representaría un problema para el usuario.

#### **1.4.6 CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES**

- a. Las briquetas elaboradas con antracita peruana, resultan manipulables sólo en el caso de mezclar el carbón con arcilla común en la proporción aproximada de 7:3
- b. No tiene ningún efecto resultante, el utilizar antracita con granulometría menor a 6mm.
- c. Con carbones que contienen muy bajo porcentaje de cenizas, las briquetas resultantes originan, después de su combustión, cenizas muy malas para el manipuleo.
- d. La inclusión de arcilla, tiene la desventaja de disminuir el poder calorífico de la briqueta de carbón, según el porcentaje en que interviene en la mezcla.

- e. La combustión de una briqueta de carbón de 2.0Kg. de peso resultó en promedio con un tiempo de duración de 5.00 horas y una briqueta de 3.6 Kg. de peso, un tiempo de 12.00 horas de combustión, en condiciones controladas de acceso de aire por el dispositivo de combustión.
- f. Con las antracitas de Alto Chicama, es más dificultosas la fabricación de briquetas por su formación carbonífera natural con areniscas cuarzosas, muy resistentes a la erosión, lo cual hace difícil la aglomeración de las partículas de carbón.
- g. Los resultados obtenidos en el presente trabajo, determinaron la posibilidad de la aplicación de esta técnica a la conversión de la antracita en briquetas, con perforaciones, como combustible sólido de uso doméstico, y su fabricación a nivel de planta piloto.

## 1.5 FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICO PARA LA FABRICACION DE BRIQUETAS DE CARBON (3)

Diversos factores fueron objeto de análisis para determinar la factibilidad de instalar una planta para la fabricación de briquetas de carbón en el Perú (3).

Para tal efecto, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE), financiaron a PROCARBON S.A para que ejecute el Estudio de Factibilidad con los expertos de Corea del Sur: el Dr. Kim In-Ki y Mr. Yang Jung-Il del Korea Institute of Energy and Resources (KIER); Dr. Han Dong - Jin del Research and Development Center de la Daesung Industrial Co., Ltd.; y Mr. Shin Jong-Hoon del Briquetting Department

de la Dong Sung Machinery Co. Como contraparte nacional, participaron en los trabajos de campo, análisis de resultados y evaluación de alternativas los siguientes profesionales peruanos : Ing. Carlos Soldi representando al Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica, Ing, Luis Morán Gandarillas como Presidente del Directorio de PROCARBON y los Bachilleres Rogger Incio S. y Raul Manchego, de la empresa PROCARBON S.A

- a. **RESERVAS DE CARBON** : Los principales depósitos de carbón tipo antracita están distribuidos principalmente en tres departamentos Lima, Ancash y La Libertad. Las reservas disponibles se estiman en 125 millones de TM, de los cuales 30 millones de TM están disponibles a corto plazo (21).
- b. **MINERIA** : Se determinó que el nivel de capacidad de producción más económico se encuentra entre 60 000 y 100 000 TM por año (21). Además, la explotación de la antracita peruana genera 60% de finos y por lo tanto, para lograr un desarrollo integral de la minería era necesario encontrar un mercado propio para estos finos (3).
- c. **TRANSPORTE** : Las antracitas identificadas cerca a las carreteras existentes en los yacimientos de Oyón, Santa y Alto Chicama tienen la posibilidad de ser transportadas a los mercados de la costa norte del país, entre Lima y Chiclayo.

El aspecto económico estaría determinado por la explotación de las minas más accesibles al mercado y la utilización de las carreteras que estén en mejor estado.

d. **MERCADO :**

- En las décadas de 1970 y de 1980 el país importaba el turbo-combustible, normalmente empleado en aeronaves, par ser utilizado como combustible de uso doméstico y a precios subsidiados (16).

- El bajo nivel de precios del kerosene doméstico ocasionó su uso en forma indiscriminada y sin ningún criterio de conservación ni aprovechamiento real.

- En el período comprendido entre los años 1984 a 1986 según los "Reportes de Ventas de Kerosone doméstico por Plantas". de la empresa PETROPERU, el país tenía una demanda promedio de kerosene de 21,7 MB/DC, cotizados al precio internacional del turbo.

- En el año 1986, el precio de kerosene en el Perú era de \$ 11.5/barril; sin embargo se importaba a \$ 25/barril, con una pérdida, sólo en la importación, de 36.5 Millones de dolares por año.

- El 45% de la demanda del kerosene se concentraba entre los departamentos de Lambayeque, La Libertad, Ancash y Lima.

e. **TECNOLOGIA :** Se comprobó que existía tecnología y equipos que podían quemar eficientemente las briquetas con antracita peruana.

f. **CONCLUSION :** Se determinó que por el tamaño del mercado nacional y la capacidad de la maquinaria comercialmente existente, era necesario iniciar una producción a pequeña escala y desarrollar paulatinamente el mercado de consumo.

## **1.6 PERFIL DEL PROYECTO DE UNA PLANTA PILOTO**

## **PARA LA FABRICACION DE BRIQUETAS DE CARBON**

La oportunidad de visitar el país de Corea del Sur para recibir capacitación en la fabricación y utilización de este combustible, permitió recoger suficiente información referencial que serviría para el diseño de una futura planta en el Perú.

### **1.6.1 LA INDUSTRIA DE BRIQUETAS DE CARBON EN COREA DEL SUR**

Aproximadamente el 75% de la antracita que se consume en Corea es destinado a la fabricación de briquetas, estandarizado a la forma de cilindros de 1.50mm. de diámetro, 142mm. de altura y 3.6 Kg. de peso, con 22 agujeros paralelos a su eje. La normalización de su tamaño, peso y precio, permitió la gran difusión de su uso por tratarse de un combustible doméstico muy económico y práctico (13).

Entre los años 1980 a 1990 se determinó que existía un número muy grande de plantas briqueteadoras de carbón, variando la capacidad de producción de cada planta entre 200,000 y 2 millones de briquetas por día; como referencia se puede ver el cuadro N°6 que es un reporte de 1983, de la División de Briquetas de la Empresa DAESUNG INDUSTRIAL CO, Ltd. Así por ejemplo, la planta briqueteadora YEONGDUNGPO, cuenta con 36 maquinas briqueteadoras, cada una de las cuales es capaz de producir 3720 briquetas por hora (o sea 62 briquetas por minuto). En condiciones normales de operación la planta produce alrededor de 86 000 briquetas por hora, procesando 2500 ton. de carbón en un turno de 08 horas.

Durante el invierno (Dic. - Marz.), cuando la demanda es mayor, la planta trabaja dos turnos diarios y el resto del año trabaja en un sólo turno. La distribución de las briquetas se hace en camiones de 1 a 5 ton. de capacidad, el 35% de los cuales son operados por la misma empresa



y el resto por distribuidores particulares. La distancia máxima de transporte en camiones es de 100 Km. pero el promedio es, en general, entre 20 y 30 Km.

Las briquetas son distribuidas a los vendedores minoristas, los cuales tienen a su cargo la distribución de las briquetas en un radio de aproximadamente 200m. alrededor del depósito. Cada depósito abastece alrededor de 200 viviendas, cuenta con 2 ó 3 empleados y distribuye en promedio 1500 briquetas por día, es decir, la carga completa de un camión de 5 ton. de capacidad.

El costo de fabricación de cada briqueta era de \$0,15 dólares americanos y el precio de venta al usuario estaba fijado por el gobierno en \$0,20 dólares americanos por briqueta, lo que dejaba una utilidad neta de \$0,15 dólares americanos por briqueta, que se reparte en forma equitativa entre la planta briqueteadora, el transportista y el distribuidor minorista.

El 95% del costo de fabricación de las briquetas correspondía al precio que la empresa paga por el carbón, que en promedio, era de \$40 dólares americanos por ton.

A fin de garantizar que el precio del carbón puesto en la planta briqueteadora no exceda de \$40.00 por ton., el gobierno había establecido un subsidio al transporte del carbón en los ferrocarriles del Estado, de tal manera que mientras el transporte de cualquier producto costaba el equivalente a \$0,9 dólares/ton/km., el del carbón había sido fijado en \$0,2/ton/Km.

## CUADRO N°6

**DAESUNG'S - PRODUCCION DIARIA DE BRIQUETAS (2)**

FABRICA	Maquinas Briquetead.	Stock x 100	Producción x 100	Lugares de Ubicación Venta
<b>SEOUL</b>				
. Wamgsipri	26	91	552	700
. Yeongdeinpo	36	251	682	1,000
<b>SUB TOTAL</b>	62	342	1,234	1,700
<b>TAEGU</b>				
. Banyandl	25	165	448	500
<b>TOTAL</b>	87	507	1,722	2,200

**1.6.2 PERFIL DEL PROYECTO**

A continuación se incluye en este Informe, el Perfil del Proyecto que el suscrito formuló y presentó, en su oportunidad, a la Empresa Promotora del Carbón S.A - PROCARBON. Este Perfil sirvió de referencia para, posteriormente, encargar el Estudio de Factibilidad correspondiente al Korean Institute of Energy and Resources, (KIER).

Obviamente, el enfoque y la información estadística utilizada para dimensionar el mercado y el tamaño de planta corresponde al período en el que este Perfil fue presentado (1986).

Es propósito del informe, consignar en forma resumida, el Perfil del Proyecto, tal como fue presentado, para demostrar la perspectiva profesional de aquel entonces y contrastarlo con la realidad actual.

a) **OBJETIVO**

Demostrar la factibilidad técnica y económica de producir en el país un combustible sólido de uso doméstico a base de carbón mineral nacional, y que conduzca a la instalación de una Planta de Fabricación de Briquetas de Carbón.

Además, deberá estar enmarcado dentro de los planes de explotación y utilización del carbón nacional, como un esfuerzo inicial suficiente para demostrar y dejar la iniciativa a los inversionistas privados del desarrollo comercial, tanto de la fabricación de briquetas como de las cocinas y accesorios respectivos.

b) **JUSTIFICACION**

En la década 1970-1980, el Perú registraba (8) un consumo intensivo del kerosene y leña como combustibles domésticos, con porcentajes de utilización del orden de 36% (16) y 45% respectivamente, sobre el total de viviendas existentes en el país, La década de 1980, se inicia con porcentajes mas elevados de consumo, según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 1981 (8), registrando porcentajes de 42% y 40% para el kerosene y leña, respectivamente.

Si bien el kerosene doméstico, registra un incremento significativo en el consumo del país, esto se debía fundamentalmente a la inexistencia de un combustible doméstico alternativo o sustitutorio que esté disponible para la población, fundamentalmente para las familias de escasos recursos económicos.

Los precios crecientes del kerosene doméstico, incidieron desfavorablemente en los sectores más deprimidos económicamente, lo cual obligó a que el Estado subsidiara por muchos años, los precios reales de este combustible en montos de US \$120 - a 150 millones de dólares por cada año, y que hubieran sido ahorrados o, por los menos, disminuidos como subsidio si existiera un combustible alternativo de menor costo.

El menor precio del carbón respecto del petróleo, tanto en el Perú como en la gran mayoría de países del mundo, convertía a las briquetas de carbón en un combustible doméstico de gran ventaja económica frente al kerosene; bajo este marco de referencia, los beneficiarios de este proyecto serían

1. La población peruana, consumidora del kerosene y leña, que tendría la alternativa de un combustible sustitutorio.
2. El Estado peruano, por cuanto podría eliminar la fuerte carga económica por el subsidio que otorgaba para mantener el precio del kerosene a niveles accesibles para los consumidores.
3. Los empresarios mineros e industriales, que tendrían una nueva oportunidad de inversión en la fabricación de briquetas y en la fabricación de cocinas.

c) **ETAPAS DEL PROYECTO**

El Proyecto de Planta Piloto para la fabricación de briquetas de carbón que, inicialmente, podrían cubrir el mercado piloto del presente trabajo, debía cumplir etapas específicas de desarrollo para el logro eficaz de los objetivos señalados. Agrupando el Proyecto en cuatro etapas principales,

éstas serían:

**ETAPA I**

**ETAPA II**

Investigación preliminar, a nivel de laboratorio, sobre las posibilidades de briquetado del carbón peruano.

Estudio experimental a nivel de Planta Piloto

**ETAPA III**

**ETAPA IV**

Análisis de factibilidad, localización de planta y definición de costos y precios unitarios de las briquetas de carbón.

Diseño definitivo y estudio de factibilidad e implementación del Proyecto Piloto a escala Industrial.

La Etapa I se desarrolló a través de la empresa PROCARBON conjuntamente con la Universidad Católica del Perú; las pautas generales que deben regir el desarrollo de las etapas, II - III y IV, serían:

**ETAPA II**

- \* Normalización del producto
- \* Observaciones para el consumo doméstico
- \* Recomendaciones sobre control de posibles gases tóxicos.
- \* Establecimiento de un mercado piloto
- \* Pautas para el establecimiento de pequeñas industrias para la fabricación de cocinillas, refractarios, etc.

### **ETAPA III**

- \* Localización de áreas en el país donde existe el tipo de carbón requerido para la fabricación de briquetas.
- \* Evaluación de las áreas elegidas
- \* Localización de la planta briqueteadora de carbón (selección de una o dos áreas).
- \* Definición del mercado de abastecimiento y de los sistemas de distribución más convenientes para el producto final.
- \* Análisis de factibilidad para determinar las inversiones necesarias para poner en marcha la operación minera e instalar una planta briqueteadora de carbón.
- \* Costos y precios unitarios de las briquetas de carbón, así como de las cocinillas.

### **ETAPA IV**

- \* Estudio de factibilidad
- \* Características del Proyecto
- \* Proceso
- \* Capacidad inicial
- \* Capacidad ampliable
- \* Localización
- \* Inversión
- \* Divisas generadas
- \* Empleos generados
- \* Estrategia de implementación
- \* Financiamiento

Se estableció que las actividades aquí planteadas podrían cumplir un

cronograma tentativo dentro de un período de tres años para ejecutar las cuatro etapas del Proyecto.

d) **MERCADO DEL PROYECTO**

El proyecto tendría como objetivo un Mercado Piloto, considerado como el mínimo posible de ser conquistado, para la sustitución del kerosene, leña y otros, bajo dos consideraciones:

- Sustitución en el consumo, de 10% del total de viviendas, en tres departamentos : La Libertad, Ancash y Lima.
- Sustitución del 10% de la producción y consumo actual del kerosene doméstico en el país.

Para ambos casos, la cantidad necesaria de briquetas de carbón para abastecer el Mercado Piloto estaría en el orden de 100,00 a 140,000 briquetas de 3.6Kg por día, para el primer y segundo caso respectivamente.

e) **TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA**

- 1) **TAMAÑO** : En una primera etapa se justificaría la instalación de una planta considerada como Planta Piloto, por iniciar la industria de briquetas de carbón en el país, con una capacidad inicial mínima de producción de una 50,000 briquetas por día y una capacidad máxima de producción (Capacidad ampliable) de 150,000 briquetas por día.

Para iniciar la producción mínima se requería solamente de dos máquinas briqueteadoras. Cada una con capacidad de producción

de 60 briquetas/minuto que en ocho horas diarias de trabajo rendiría unas 28,000 briquetas/día máquina. A la vez el requerimiento mínimo inicial de carbón antracita como materia prima sería de unas 130 toneladas por día, esto es, lo equivalente a 40,000 toneladas por año, cantidad que podría ser abastecida satisfactoriamente por el nivel actual de explotación carbonífera.

- 2) LOCALIZACION : La fábrica podría estar ubicada en las proximidades de una importante unidad minera de carbón, aunque deberá considerarse la proximidad a los centros de consumo, condiciones geológicas favorables y existenciales o acondicionamiento de la infraestructura mínima requerida.

Un factor importante que va a influir en la localización es la ubicación de las áreas del país donde existe el tipo de carbón que se requiere para la fabricación de las briquetas, por los efectos que tendría el costo del transporte.

Se consideró prioritario el estudio de localización de la planta en la cuencas carboníferas del Santa (Ancash), Alto Chicama (La Libertad) y Oyon (Lima), por ser estas regiones las que reúnen diversas condiciones favorables como por ejemplo tener los carbones adecuados, familiaridad en el uso de carbón mineral, un mercado cautivo muy importante en el sector doméstico, además de ser regiones carboníferas por excelencia. (Ver cuadro N°7)



**CUADRO N°07****PROYECTO DE PLANTA PILOTO DE BRIQUETAS DE CARBON****A. TAMAÑO**

	CAPACIDAD MINIMA			CAPACIDAD MAXIMA		
	Producción de Briquetas		Carbón neces.	Producción de Briquetas		Carbón neces
	Unidds.	Ton.	Ton.	Unidds.	Ton.	Ton.
DIA	50,000	180	130	150,000	540	380
AÑO	15'000,000	54,000	40,000	45'000,000	162,000	115,000
Maquinas Briqueteadoras Necesarias :			CINCO Maq. Briquet.			
DOS Maq. Briquet.						

**B. LOCALIZACION****PRIORIDADES DE ESTUDIO**

1. Región de la Cuenca del Santa (Ancash)
2. Región de la Cuenca del Alto Chicama (La Libertad)
3. Región de la Cuenca de Oyon (Lima)

**f. INGENIERIA DEL PROYECTO****(1) DESCRIPCION DE OPERACIONES**

Las operaciones que se realizarían en el proceso de fabricación de las briquetas de carbón, tal como se describe en el proceso esquemático adjunto, diagrama N°6, serían las siguientes:

El carbón antracita procedente de las fuentes de abastecimiento respectivas, sería transportado a la planta en camiones de 15 a 20 T.M., de acuerdo a los requerimientos iniciales de materia prima, El carbón descargado, será apilado separadamente mediante cargadores frontales en canchas de almacenamiento que garanticen una capacidad de alimentación a la planta para un número suficiente de días de operación. La alimentación mediante correas de transmisión, llevará el carbón a una primera clasificación en tamices de vibración que separará en dos tamaños: +12mm. y -12mm; los tamaños menores de 12mm serán almacenados como carbón limpio, disponibles para una segunda clasificación y los tamaños mayores de 12mm se enviarán a un molino de martillos que lo reduzca a tamaños menores como para incluirlos en la línea de alimentación de éstos. Así, los carbones llevados a la granulometría -12mm se envían a una segunda operación de tamizado que clasificará el carbón en los tamaños de +9 y -9mm ó si es necesario en los tamaños menores de +6mm y -6mm; los tamaños mayores serán reciclados a la correa de trasmisión que alimenta los tamices de vibración primaria mientras que los tamaños menores pasarán a la homogeneización respectiva con las proporciones necesarias de arcilla y agua que deben ser alimentadas para obtener la mezcla más adecuada. Esta operación de homogeneización es la más importante y se podrá realizar en pozas dispuestas convenientemente, donde se realice el mezclado respectivo hasta llevarlo a las prensas de briqueteado de la cual se obtendrán las briquetas de carbón como producto final.

Tanto la materia prima, el carbón antracita, como las briquetas producidas deberán estar sometidos a una inspección de laboratorio en forma permanente; las briquetas producidas, una vez secada también se controlaría su calidad, para finalmente colocarlos en los sistemas de

mercadeo y distribución respectivas.

## (2) TRANSPORTE DEL CARBON DE LAS MINAS A LA PLANTA PILOTO

Dependiendo de dónde se localice la Planta Piloto, sería necesario estudiar el sistema más conveniente para el abastecimiento de carbón antracita, buscando aliviar los costos por transporte, teniendo en cuenta que lo que se transportaría es un carbón antracita de mediana o pobre calidad, generalmente de poco valor en el mercado tradicional.

La cuenca carbonífera del Santa, presenta condiciones favorables agrupando los depósitos carboníferos en dos ejes principales :

- a) La Galgada - Ancos - Eclipse - Huachumín - San Gerónimo.
- b) La Limeña - Huallanca - Huaylas - Caraz - Pasacancha.

## (3) PRODUCTO A OBTENER

Los productos que se obtendrían en la Planta Piloto de fabricación, serían briquetas de Carbón Antracita para consumo doméstico como combustible sólido, las cuales deberán reunir, entre las más importantes, las siguientes características :

Valor calorífico : 4,200 Kcal/Kg como mínimo, 4,600 Kcal/Kg como máximo.

No despedir fuertes olores : 0.4% en contenido de Azufre

No desprender demasiados gases (humos) : 4.5% en contenido de materiales volátiles.

Tiempo de combustión; 12 horas en promedio (combustión controlada)

No adhesión de cenizas

Elevada resistencia a la compresión : 15 Kg/cm como mínimo

Forma constante de la briqueta :

Peso ... 3.6Kg

altura.. 142 mm.

densidad real.. 1.8

g) **INVERSION**

En esta etapa del proyecto, aún no era posible indicar un estimado de las inversiones que demandaría la ejecución del Proyecto en las etapas siguientes

Sin embargo, era importante tener en cuenta que, especialmente, la máquina briqueteadora de capacidad industrial debía ser adquirida en Corea del Sur, por ser éste país el poseedor de la patente, y sería necesario iniciar la producción Piloto, sólo con dos máquinas o prensas briqueteadoras cuyo costo, de acuerdo a precios oficiales en dicho país eran:

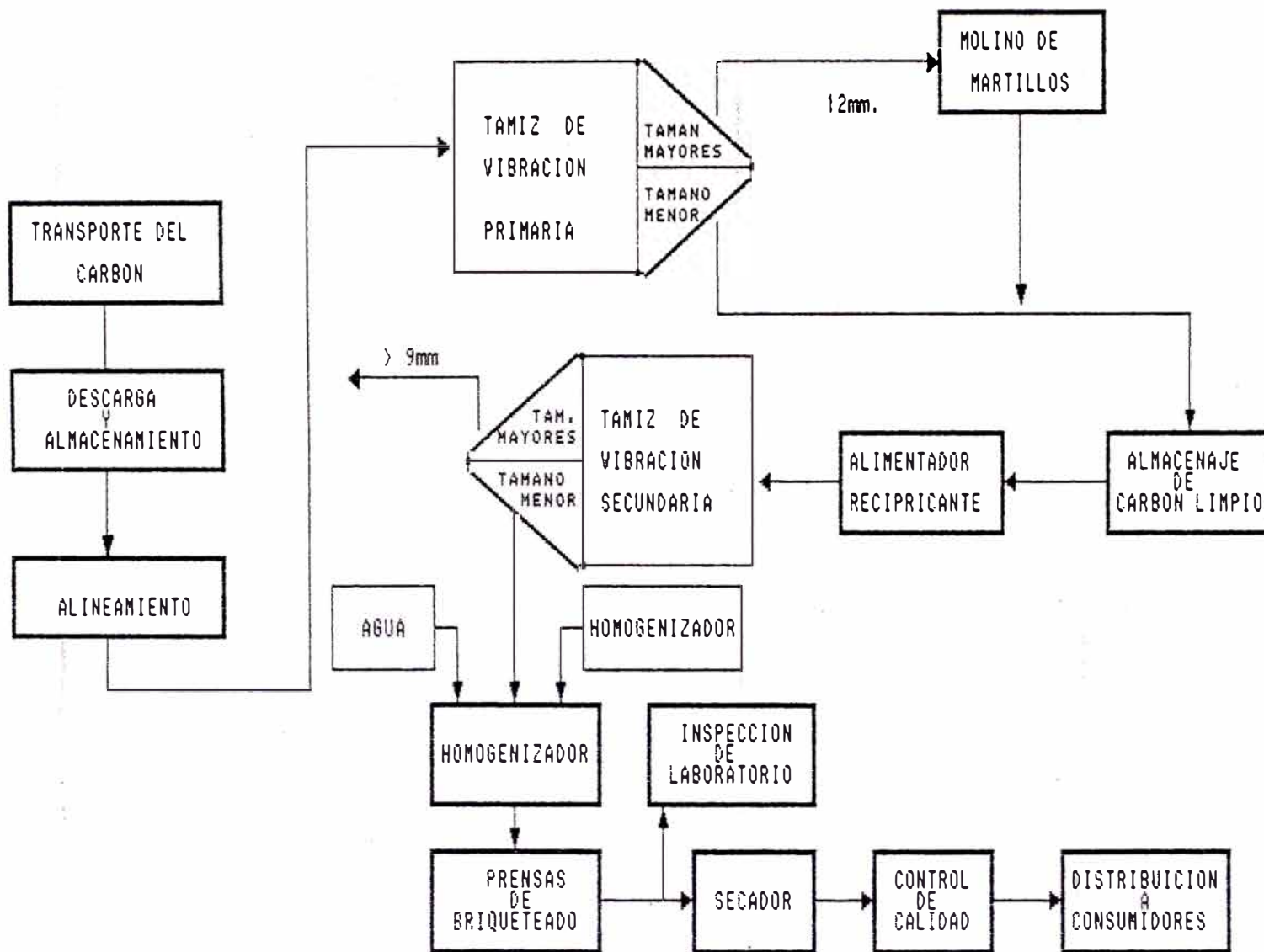
Precio FOB de una Máquina Briqueteadora : US\$50,000 (Capacidad de Producción: 60 briquetas de 3.6 Kg/minuto)

Por los tanto, para la planta de fabricación, un rubro importante de la inversión a tener en cuenta eran:

Costos de 2 máquinas Briqueteadoras: US\$100,000.

# DIAGRAMA No. 6

## DIAGRAMA PARA PLANTA DE FABRICACION DE BRIQUETAS DE CARBON



## 1.7 SITUACION FINAL DE PROYECTO

El balance de la situación final de este Proyecto al 1er. semestre de 1989, podemos describirla como la resultante de un conjunto de fortalezas y debilidades en donde el factor precios de los combustibles tradicionales, (kerosene, gas), ocasionó que el proyecto no se ejecutara en el plazo esperado.

FORTALEZAS : Difusión, promoción y buena calidad del producto.

Debido a los esfuerzos de PROCARBON S.A, el progreso alcanzado en la promoción de la utilización de la briqueta de carbón fueron significativos y se logró principalmente por los siguientes factores:

HUMANO : Fabricación de briquetas; difusión y demostraciones con personal capacitado.

INSTITUCIONAL : Participación de entidades que dieron apoyo a la promoción, como SIDERPERU, PETROPERU, COFIDE, UNIV. CATOLICA, EMPRESARIOS PRIVADOS, etc.

DEBILIDADES : Aspecto financiero y política de subsidios en los precios de los combustibles como kerosene y gas domésticos.

Aún cuando se demostró que en el país se venían subsidiando los precios del kerosene en montos mayores a los 60 millones de dolares por año, esta situación no derivó en un sinceramiento de precios del kerosene como se esperaba.

La briqueta de carbón debía competir en el mercado, con su precio real,

frente al precio subsidiado del kerosene.

Esto no favorecía la penetración en el mercado de la briqueta como combustible.

### **IMPLEMENTACIONES**

Con las experiencias desarrolladas, las mismas que fueron difundidas en su oportunidad, algunas entidades privadas implementaron pequeños centros de producción tanto de briquetas de carbón como de los implementos para su utilización, así por ejemplo

- \* UNIVERSIDAD CATOLICA (FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y FACULTAD DE MINAS) : Con una prensa hidráulica producía un promedio de 60 briquetas/hora, para su comercialización en los comedores populares de Villa El Salvador en Lima, en sistemas de calefacción para granjas, criaderos de peces, etc.
- \* EMPRESA PRIVADA : Con dos (2) prensas briqueteadoras, procedentes de la China, se instaló una planta con capacidad de producción de 3 ton/hora, para atender el mercado doméstico del Cono Norte y Cono Sur de Lima así como a pequeñas industrias.

En la actualidad, esta planta sigue en operación en la zona denominada "SHANGRILA" distrito de Puente Piedra en Lima y atiende inclusive al mercado de las provincias; pero limitado al sector del mercado industrial (granjas avícolas, granjas de cerdos, comedores populares, etc).

## **1.8 PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA DE BRIQUETAS DE CARBON EN EL PERU**

### **1.8.1 ENTORNO MACROECONOMICO**

El desarrollo energético de un país está en función de las perspectivas económicas que éste ofrece, sustentado en su diversidad de recursos de alto valor económico, entre ellos los energéticos, que son la base para lograr un crecimiento económico constante de largo plazo y que por consiguiente requiere el desarrollo de proyectos que lo provean de la energía suficiente.

De acuerdo a estudios elaborados por el Ministerio de Energía y Minas, el país ha experimentado en los últimos años, un impresionante crecimiento del consumo energético, especialmente eléctrico y se espera que el desarrollo de los diversos sectores económicos traiga consigo una mejora en la capacidad adquisitiva de la población y, consecuentemente, un mayor consumo energético, particularmente de gas y electricidad.

Actualmente existe una mínima utilización de los recursos más abundantes como el gas, carbón y, por el contrario, una gran dependencia de los recursos menos disponibles internamente, como los derivados del petróleo.

### **1.8.2 EL GAS EN EL PANORAMA ENERGETICO DEL PERU**

Actualmente el Perú es uno de los países que tienen los niveles de producción de gas mas bajos de Latinoamérica. La producción nacional de gas representa menos de 1% del total producido por la región, sin embargo el Perú es uno de los países con más reserva de gas en la zona.

Así mismo, respecto al consumo de gas, el promedio mundial es de 400



metros cúbicos por persona por año, mientras que el Perú consume sólo 45 metros cúbicos, es decir sólo el 11% del promedio mundial; a nivel regional, el consumo de gas en el Perú es el más bajo en América Latina, respecto a Chile con 300 metros cúbicos/persona/año, Ecuador con 265 y Colombia con 80.

Según investigaciones de importantes compañías de nivel internacional, se estima que la tasa de crecimiento de la demanda de gas en el Perú, en el período de 1994 al 2015, será de 16% al año, es decir, 3 veces más que la tasa de incremento promedio que perfilan los países de la región Latinoamericana de aquí al 2000.

Se puede asegurar que el gas en el Perú, tienen un futuro asegurado en cuanto a su utilización en las empresas generadoras de electricidad y la industria, así como su uso en el sector doméstico, y los beneficios serán tanto del consumidor como del productor, no sólo por el efecto multiplicador que este recurso tiene en los diferentes sectores e industrias, que permitirá aumentar el bienestar nacional sin mayores distinciones de tipo de consumidor.

### **1.8.3 FABRICACION ACTUAL DE BRIQUETAS DE CARBON**

La fábrica CARBOTEC S.A; Empresa Procesadora de Carbón mineral, se instaló en Lima en el año 1991 y ha realizado meritorios esfuerzos en la introducción comercial de la briqueta de carbón como combustible, en el mercado regional de Lima desde el año 1992 hasta la fecha.

Con la tecnología descrita en el presente informe, ha logrado acumular una experiencia muy valiosa en el desarrollo de la briqueta, de los accesorios para su uso y de los diversos equipos para su utilización, como cocinillas, calentadores de agua, secadores de productos

alimenticios, etc, (ver Apéndice N° 6A).

Su producción actual oscila entre las 100 ton/mes en la temporada de verano, hasta las 200 ton/mes en la temporada de invierno, y produce briquetas de 550 gr. de peso, y de 1,8 kg., modelo coreano, con prensas briqueteadoras de procedencia china, de una capacidad de producción de 3 ton/hora. Opera como una empresa privada, en un turno de ocho horas/día, con un total de 8 operarios y 4 empleados. Adicionalmente está fabricando una briqueta pequeña, elaborada con carbonilla vegetal, llamada comercialmente "rozeta parrillera" (Ver Apéndice N°6A).

CARBOTEC S.A ha logrado cubrir un mercado aún pequeño en el contexto de la demanda energética, y su producción se destina principalmente a los comedores populares, para la cocción de alimentos y producción de agua caliente; a las granjas avícolas y de ganado porcino, para calefacción en la crianza de aves y cerdos, con significativas ventajas económicas que están permitiendo reducir los costos de calefacción en aproximadamente el 50% en relación al empleo del gas y el kerosene.

El cuadro que se muestra a continuación es el resultado de una comparación real que actualmente se está logrando con el consumo de briquetas en el sector de la crianza de aves y cerdos.

#### CUADRO COMPARATIVO DEL SISTEMA DE CALEFACCION

Nº Pollos	Combustible	Campanas	<u>Cantidad/Día</u>	<u>Precio</u>	<u>Costo</u>
				<u>Unitario</u>	<u>Diario</u>
10,000	GAS PROPANO	10	01 Balón 100 Lb.	S/.95.00	S/.95.00
10,000	BRIQUETA CARBON MINERAL	10	60 Briquetas	S/.0.65	S/.39.00

En el mercado doméstico urbano, CARBOTEC S.A no ha logrado introducir la briqueta de carbón como combustible, a pesar de las campañas promocionales que se realizaron con el apoyo del Programa de Ahorro de Energía - PAE, del Ministerio de Energía y Minas del Perú, en el año 1994.

Las razones principales que no han permitido lograr el objetivo del mercado urbano, se puede resumir a lo siguiente :

- a. Manipulación de la briqueta : no permite la comodidad que otorga el gas y la electricidad, o el kerosene.
- b. Política de precios de los combustibles : desfavorecen el desarrollo de la Industria de Briquetas, por su nivel de producción a pequeña escala, que no permite obtener la briqueta a un menor costo de producción.
- c. Combustión continua de la briqueta : en las viviendas del sector urbano, origina desperdicios de energía y por lo tanto, pérdida de dinero, al no requerir calefacción y/o producción de agua caliente, simultáneamente a la cocción de alimentos.

#### **1.8.4 POSIBILIDADES**

La experiencia de CARBOTEC S.A, está demostrando lo que hemos formulado en el punto 1.7 de este informe, y que mencionamos en el punto 1.8.3

- el problema de mercado, y
- la competencia desfavorable

El problema de mercado, se resume a lo siguiente

## Mercado Doméstico

A mediano y largo plazo no existen perspectivas favorables para la briqueta de carbón, en el mercado de las ciudades de la costa del país, por las razones expuestas anteriormente, y por lo que a continuación exponemos.

- El impacto del gas de Camisea,  
El principal proyecto energético de los próximos años en el Perú, ocasionará un cambio radical en la estructura de consumo energético de la población peruana, que tendrá al gas como el recurso principal, por su gran disponibilidad, precios ventajosos y bondades inherentes como la limpieza en el uso y fácil manejo.

Hablar de una futura red de ductos y cañerías de gas a domicilio es sólo una posibilidad. En todo caso dependerá del mercado, que haga rentable el montaje de todas esas redes, seguramente más allá del año 2005. En Argentina y varios países europeos, la instalación de dichas redes de gas a domicilio demoró varias décadas hasta llegar a una mediana consolidación. En el caso de Lima se supone que el gas de Camisea vendría por un poliducto o en forma separada a través de dos ductos (gas seco y líquido de gas) para su posterior procesamiento.

El gas que se reparte a domicilio en balones de 25 y de 100 libras es licuado. El 40% de este gas licuado es importado, lo que significa un importante drenaje de divisas. Se estima que este sería el primer renglón de ahorro de utilizarse el gas de Camisea.

En el país hay 50 empresas envasadoras de gas doméstico y el

mercado nacional del gas licuado de petróleo se acerca actualmente a las 300 mil toneladas al año.

Para el año 2000 se prevé que el mercado estaría sobre las 500 mil toneladas, mientras que en Camisea se estaría produciendo un millón de toneladas de GLP por año.

■ La Oferta y demanda de energía eléctrica

Se estima que la generación de energía eléctrica tendrá un crecimiento promedio del 5% anual, lo que indica que, en un escenario optimista para el año 2000, en el principal Sistema Interconectado Centro Norte se requerirá un crecimiento de la generación de 175 MW anuales desde el 2001 hasta el 2011. La meta del Sector de Energía para el año 2000 es satisfacer con el servicio al 75% de los hogares peruanos.

El crecimiento de la demanda eléctrica ha sido irregular, especialmente durante la última década, registrándose un crecimiento promedio anual durante las décadas de los años 70, 80, y el primer lustro de la presente década (1990 a 1994), de 5,9%, 3,7% y 3,1% respectivamente.

En los años 1994 y 1995, la demanda de energía eléctrica alcanzó un crecimiento anual promedio de 9,23%, lo que muestra un Sector Eléctrico con un crecimiento extraordinario, orgánico y con tendencia a su estabilización.

De las proyecciones efectuadas a nivel de cada uno de los sistema interconectados y de alguno de los sistemas aislados, las tasas de crecimiento para los pronósticos conservador, moderado y

optimista, en el período del 2000 al 2005 son de 3,3; 4,6 y 5,3% respectivamente.

Sobre las tarifas es difícil pronosticar el nivel de precios que alcanzará la energía eléctrica generada con el gas de Camisea.

En conclusión, frente a la situación descrita, es de esperar que la población peruana en general, utilizará los recursos de disponibilidad abundante, como el gas licuado de petróleo, garantizado por una política de precios favorables que incentivará su consumo, para estar acordes con la mayoría de países en el mundo; la energía eléctrica será además la fuente alternativa de consumo inmediato y de fácil empleo, aún más si también es favorecido su consumo con tarifas inferiores a las actuales.

### Mercado Potencial

El futuro de la Industria de Briquetas enfrentará el panorama descrito, y por ello no deberá orientarse al mercado de las grandes ciudades, El gran potencial de la briqueta se encuentra en el aprovechamiento simultáneo que se puede lograr de la energía calorífica que emite, ininterrumpidamente, y que para las grandes ciudades significa un problema por la inaplicabilidad y poca facilidad de uso.

Las aplicaciones actuales, calefacción en la crianza de animales, ofrece un gran potencial en el ámbito nacional y es de uso intensivo, las 24 horas de día, lo que significa para una compañía como CARBOTEC S.A, compensar la falta de mercado en las viviendas urbanas.

De la misma manera, en diversas zonas de la Sierra Central del país,

especialmente las zonas mineras, caracterizadas por climas fríos en donde las temperatura ambientes oscilan generalmente entre los 7 a 18°C durante el día, y de -3 a 7°C durante la noche, se puede desarrollar el mercado en base a la necesidad de utilización simultánea para coción de alimentos, calefacción de ambientes y producción de agua caliente.

Si bien la briqueta de carbón ofrece una variedad de aplicaciones, debemos ser realistas respecto a la evolución de la estructura de consumo energético en el país, al cambio de patrones de consumo, y la tendencia a lo fácil, limpio, y práctico que debe ser un combustible, aún con la desventaja que el precio pudiera significar, especialmente en el ámbito del sector doméstico.

Por ello, la briqueta de carbón tendrá vigencia en el Perú sólo hasta determinado momento, en el que intervengan los combustibles que a futuro dominarán el mercado: el gas y la electricidad. Así ha sucedido en muchos países, y ha sucedido también en los mismos países donde la briqueta de carbón se desarrolló a niveles de grandes industrias y dominó el mercado doméstico, como es el caso de Corea y China.

En China, aún se utiliza masivamente, sin embargo en Corea, actualmente la Industria de Briquetas de carbón para el sector doméstico, tiende a desaparecer, y se está reduciendo al mínimo en atención sólo al sector semi-industrial y de calefacción. El mercado doméstico de Corea, como en otros países está comenzando a ser dominado por el gas, principalmente, seguido de la electricidad.

Debemos considerar que el mercado peruano, por la existencia de las reservas de gas en los yacimientos de Camisea, a mediano plazo empezará a ser dominado por el gas, tanto en las industrias como el

ámbito del consumo doméstico, y la cobertura de la oferta eléctrica, por lo consiguiente, también permitirá satisfacer las necesidades de calefacción u otras.



## **2. APLICACIONES DEL CARBON - PROYECTO DE SUSTITUCION DE PETROLEO INDUSTRIAL N°6 POR CARBON PULVERIZADO EN LOS HORNOS REVERBERO DE COBRE DE LA OROYA, CETROMIN PERU.**

Esta parte del informe se refiere a los trabajos vinculados al proyecto de sustitución de Petróleo Industrial N°6 por carbón pulverizado en los hornos reverbero de la fundición de cobre de la Oroya-Centromín Perú realizados entre los años 1991 a 1993 como una de las alternativas desarrolladas para reducir el consumo de petróleo.

### **2.1 COMPLEJO METALURGICO DE LA OROYA**

El complejo metalúrgico de la Oroya, propiedad de la empresa CENTROMIN PERU S.A está ubicado, en la Sierra Central del Perú a 3 775 m.s.n.m. y a 180 Km al nor-este de la ciudad de Lima, en el Distrito de la Oroya, Provincia de Yauli, Dpto, de Junín. Esta considerado entre uno de los cuatro complejos metalúrgicos mas grandes del mundo por la diversidad y cantidad de operaciones y procesos que realizan por tratar concentrados polimetálicos con altos contenidos de impurezas y metales preciosos par producir una gran variedad de metales refinados y subproductos. A este complejo se le asemejan, aunque mas modernos, los de Hoboken del grupo Unión Miniere en Bélgica, Ronnskar de Boliden Minerals en Suecia (con dos circuitos integrados de cobre y plomo en ambos complejos y en el caso del grupo Unión Miniere con su planta de zinc y refinería de cobre en forma integral pero alejadas) y Dow Mining del Japón (con tres circuitos independientes y dispersos).

El complejo metalúrgico está constituido por tres circuitos integrales de Cobre-Plata, Plomo-Plata y Zinc. Se procesan 570 000 t de concentrados/año (260 000 t de concentrados limpios y polimetálicos de Cu, 150 000 t de conc. de Pb y 160 000 t de conc. de Zn) y se producen simultáneamente 11 metales (Cobre, Plomo, Zinc, Plata, Indio, Cadmio, Bismuto Refinado, Oro Bullón, Selenio, Teluro Comercial y Antimonio Crudo) y 9 subproductos químicos (Acido Sulfúrico, Oleum, Bisulfito de Sodio, Sulfato de Cobre, sulfato de Zinc, Polvo de Zinc, Trióxido de Arsénico y Concentrado Zn-Ag).

El volumen de ventas anuales de la empresa es del orden de US\$400 millones a precios promedio de los metales de 1993, de los cuales US\$300 millones corresponde a las ventas de los productos refinados producidos en el complejo metalúrgico de la Oroya y US\$70 millones por la venta del excedente de los concentrados de zinc. Las unidades mineras de Centromín Perú abastecen al complejo metalúrgico para sus procesos el 100% de concentrados de zinc, 95% de concentrados de plomo y el 50% de concentrados de cobre; las diferencias son adquiridas en el mercado nacional e internacional.

## **2.2 FUNDICION DE COBRE**

La principal actividad de esta fundición es producir ánodo de cobre ampoloso usando como materia prima concentrados de cobre, fundentes (piritas, cal, sílice, etc), recirculantes de la misma planta y transferencia de otras.

Posteriormente estos ánodos son materia prima para la obtención de barras de cobre (99,98%) y alambón de cobre.

Para obtener las barras de cobre ampolloso, se llevan a cabo operaciones de mezclado de las materias primas, tostado de la mezcla y posterior fusión de ésta en las siguientes secciones:

Planta de preparación

Planta de tostación, y

Planta de fundición (horno reverberos, convertidores, moldeo)

### **PLANTA DE PREPARACION**

Aquí se realiza la preparación de los lechos de fusión de cobre, plomo y sílice.

La cantidad y calidad de los materiales seleccionados para la preparación de las "camas", (lechos de fusión) están en función de la composición química, física, relacione Fe/insoluble y S/Ca, fijados previamente para las operaciones del circuito de cobre.

### **PLANTA DE TOSTACION**

El objetivo principal de esta planta es eliminar por tostación parte del azufre (consecuentemente el agua) presente en las camas de cobre. Algunas de la impurezas, particularmente As y en menor grado Sb son también parcialmente volatizados durante la tostación dando como resultado la calcina que es una mezcla de sulfuros, óxidos y posiblemente sulfatos.

Los tostadores sonde tipo Wedge, de 6,86m de diámetro, revestidos de ladrillo refractarios, con brazos de hierro fundido, refrigerados por aire; el rango de temperatura de tostación es 650-750°C. Cada tostador tiene dos quemadores que utilizan el petróleo residual N°6.

### **PLANTA DE FUNDICION**

En el período que se planificó las pruebas de sustitución, las secciones de esta planta operaban de la manera convencional, y como se describe a continuación.

a. **Horno Reverberos**

Aquí se separan los sulfuros metálicos y la ganga de la calcina para producir una mata adecuada que será cargada a los convertidores (10)

Este proceso se realiza con la ayuda de los fundentes apropiados presentes en la calcina y a una temperatura de unos 1250°C; los metales preciosos son absorbidos casi completamente por la mata producida.

La calcina de los tostadores se descarga en las tolvas situadas en la parte superior y a ambos lados de los hornos de reverbero.

Al fundirse la calcina, se forman dos fases: la más densa (grav. específ 5.2) esta compuesta mayormente de metales sulfurosos y forma la mata, mientras que la fase menos densa (escorias, grav. específ. 3.6) contiene la ganga y los fundentes.

La mata es sangrada (extraída) por un costado del horno y conducida por un canal de Cu hacia una tazas especiales para luego ser cargada a los convertidores. la escoria es sangrada, granulada con agua a alta presión y enviada al depósito de escoria por medio de un cable carril.

Los gases y polvos producidos pasan por las calderas de calor residual donde se recupera una parte de calor para la producción

de vapor; los gases pasan luego al ducto de reverberos y son llevados al cottrel central para recuperar los polvos metálicos.

Existían dos hornos de reverberos: el horno N°1 tenía 7 quemadores y 2 calderas de recuperación, y el horno N°2, 6 quemadores y 1 caldera de recuperación.

Los quemadores son de aire-petróleo, ubicados en posición horizontal.

**b. Convertidores**

La operación de convertidores consiste esencialmente en insuflar aire al baño de mata traída de reverberos con el propósito de oxidar los sulfuros de hierro a óxido ferroso el cual forma con la sílice (agregada al convertidor) la escoria que regresa a los reverberos

Al mismo tiempo el sulfuro cuproso se oxida dejando el cobre metálico en el fondo del convertidor. Estas reacciones químicas son altamente exotérmicas por lo que no se usa ningún tipo de combustible. Existen 6 convertidores.

**c. Moldeo**

El cobre producido en convertidores se transfiere a un horno de retención, cilíndrico, con un quemador de petróleo residual N°6 al lado de la tambora. El cobre líquido cae por colada hacia los moldes que están sobre un sistema de cadena transportadora luego de pasar por la zona de enfriamiento (chorros de agua). Los ánodos son desprendidos del molde y cargados a los carros anoderos para ser enviados a la refinería de cobre.

## 2.3 LA FUSION EN HORNOS DE REVERBERO

Los objetivos principales de la fusión son las de fundir la carga, y obtener la separación de la mata y escoria (10).

### 2.3.1 Características

En el horno reverbero la carga va calentada por el gas caliente de la convección en la superficie de los taludes, y por transmisión de calor a costa de la conductividad térmica de la carga. Sin embargo, los gases más calientes pasan bajo la bóveda, calentando su superficie interior y la manpostería calentada de la bóveda irradia el calor de los taludes de la carga. En virtud de que la bóveda participa en la transferencia de una parte considerable del calor a la carga, estos hornos han recibido el nombre de Hornos de Reverbero.

### 2.3.2 REGIMEN TERMICO

La temperatura de la parte final de un horno de reverbero debe ser no más de 1200-1250°C, menor que de la parte inicial del horno.

La temperatura teórica de los gases que se forman durante la quema del combustible puede ser determinado por la fórmula:

$$T = \frac{Q}{mc}$$

Donde :

Q : cantidad de calor que se desprende al quemar combustible

m : cantidad de gases que se forman

c : capacidad calorífica de los gases

La temperatura teórica de quema está entre 2160-2200°C

aproximadamente; esta se eleva siempre y cuando en el horno se suministre aire enriquecido con  $O_2$  o previamente calentado.

En la práctica no se alcanza tal temperatura, ya que una parte del calor se gasta en el calentamiento del aire y otra parte se pierde absorbida por la mampostería del horno; el margen superior de la temperatura se limita por la resistencia térmica de la bóveda.

La transmisión del calor por radiación depende de la diferencia existente entre la temperatura de la mampostería calentada de la bóveda y de los gases, por un lado, y la temperatura de la carga por otro lado, es decir del salto de temperatura. Cuanto más sea la magnitud del salto de temperatura tanto mayor será el rendimiento de fusión en la carga; esta relación puede ser expresada por la ecuación de Stephan-Boltzmann.

$$Q = KA (T_1^4 - T_2^4)t$$

Donde :

Q : es la cantidad de calor transmitida por irradiación

K : coeficiente de transmisión de calor por irradiación

A : es la superficie de los taludes de la carga

$T_1$ : es la temperatura absoluta en la mampostería calentada

$T_2$ : temperatura absoluta en la carga dispuesta en los taludes del horno

t : duración del calentamiento

El segundo procedimiento para transmitir el calor a los taludes de la carga consiste en la transferencia por convección que se realiza por la llama de gas. La cantidad de calor transmitido se puede determinar por la ecuación siguiente

$$Q_2 = A.B.t (T_1 - T_2)$$

Donde :

$Q_2$ : cantidad de calor transmitida por convección por parte de la llama de gas.

$B$  : coeficiente de termotransferencia por convección, a costa del calor transmitido por la llama e irradiado por la manposteria.

$T_1$ : temperatura de la capa superficial calentada por los taludes de la carga

$T_2$ : temperatura de las partes no calentadas, dentro de la capa de la carga.

Se deduce que al ser altas las temperaturas de fusión, es la irradiación la que tiene mayor importancia en la transmisión de calor a los taludes de la carga, puesto que la transferencia de estos depende de las temperaturas absolutas elevadas a las cuartas potencias. Los cálculos muestran que por irradiación se trasmite no menos del 80% de calor que se obtiene por la carga.

La parte de calor que se utiliza para fundir es de 25-30%, la demás cantidad de calor se va con los gases y se pierde por la superficie del horno.

El consumo térmico de la carga depende de la composición química de la misma; es tanto mayor cuanto más contenga componentes poco fusibles y de gran capacidad térmica como la sílice y el óxido de magnesio y cuanto sea el contenido de humedad.

## **2.4 ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE PETROLEO EN LA FUNDICION DE COBRE**

Los hornos reverberos todavía son usados en el mayor número de



unidades de fundición en el mundo; estando operativos 31 unidades del total de 47 fundiciones, distribuídas en 21 países.

La tecnología convencional del Cobre demanda un alto consumo de petróleo y requiere de altos costos de operación además de elevados índices de contaminación ambiental, por lo que era necesario identificar algunas de las tecnologías que reducen el consumo de petróleo o lo sustituyen por otros combustibles más baratos.

#### **2.4.1 HORNOS TIPO FLASH**

Se conoce que en los últimos 20 años, más del 70% de las nuevas fundiciones construidas están basadas en el uso de los hornos de tipo flash.

Así, las tecnologías conocidas como "Flash Smelting" reducen la energía total requerida por ton Cu producido, con un mejor control de la polución ambiental.

De igual modo, éstas nuevas tecnologías permiten reducir los volúmenes de gases y la alta concentración de SO<sub>2</sub> reduce los requerimientos de capacidad de planta para el manipuleo de gases y polvos y facilita la producción de ácido sulfúrico.

#### **2.4.2 AIRE ENRIQUECIDO CON O<sub>2</sub>**

El uso de aire enriquecido con O<sub>2</sub> en los hornos primarios se realiza actualmente en más del 50% de las fundiciones existentes en el mundo. Entre los diferentes tipos de reactores de fundición hay variaciones significativas en cuanto al enriquecimiento de oxígeno. Así por ejemplo, se usa de 96 a 98% de O<sub>2</sub> en Inco Flash, 42 - 43% en los hornos Mitsubishi y 34% en los reactores Noranda. De igual modo los hornos

Outokumpu operan con oxígeno en un rango de 27 a 85% siendo en promedio 42% O<sub>2</sub>; la Mount -Isamines de Australia, para su proceso Isamelt par el Cobre, usa aire enriquecido con 30% de oxígeno (15).

### 2.4.3 TECNOLOGIAS DE OXY - COMBUSTION

Existen dos alternativas

- Oxy Fuel y
- Oxy Carbón

Para ambos casos, debe disponerse de una planta propia de producción de oxígeno, así como de quemadores de oxígeno con los cuales es posible de obtener un enriquecimiento del aire total muy elevado (20).

El aire total consiste de:

- \* El aire primario (Oxígeno)
- \* El aire secundario y de infiltración

El aire primario sirve para la combustión de los combustibles introducidos a través de los quemadores, mientras que el aire secundario sirve para la oxidación del azufre y provee el exceso de oxígeno en los gases del reverbero.

Esta tecnología, por ejemplo, se aplica en la Fundición de Caletones, El Teniente, Chile, donde se utiliza Oxy Fuel para la fundición directa de concentrados "verdes", es decir sin tostación parcial previa.

En la Oroya, la carga del reverbero de cobre es una calcina del tratamiento de 500°C. La calcina se obtiene por tostación de una mezcla de concentrados de cobre, pirita, recirculantes, sílica y cal.

Estas tecnologías tienen las ventajas de aumentar la capacidad del

tratamiento de calcina en el horno reverbero, hasta en el doble de su capacidad; de subir la concentración de  $\text{SO}_2$  en los gases del horno reverbero, disminuyendo la contaminación ambiental por emisiones de  $\text{SO}_2$  y de reducir los costos específicos de la producción de cobre.

#### **2.4.4. COMBUSTION DE CARBON PULVERIZADO UTILIZANDO AIRE ENRIQUECIDO CON OXIGENO**

El carbón mineral pulverizado se ha usado en muchos hornos de fundición en el mudo (4).

Con la incorporación de mayor oxígeno al aire de combustión para quemar carbón pulverizado, se busca, al igual que con el petróleo, un mayor aprovechamiento energético del carbón, y para el caso específico de La Oroya, significa simular las condiciones del nivel del mar en el proceso de combustión.

Esta tecnología fue seleccionada para la realización de un proyecto piloto de sustitución del petróleo N°6 por carbón pulverizado en el horno reverbero N°2 de la fundición de Cobre de La Oroya.

### **2.5 PROYECTO DE SUSTITUCION DE PETROLEO N°6 POR CARBON PULVERIZADO EN EL HORNO REVERBERO N°2**

El objetivo de este proyecto fue la de comprobar por medio de pruebas, que la combustión de carbón pulverizado con aire enriquecido en oxígeno sería técnicamente factible en las condiciones de La Oroya (3800 msnm.) y económicamente más atractiva que la combustión de petróleo industrial (18).

Durante el desarrollo del proyecto y por las variaciones de precios del

petróleo y del carbón, por las circunstancias del avance e indefinición de otros proyectos, además de otros factores involucrados, se fueron modificando diversos criterios de diseño de las pruebas planificadas.

Fueron analizadas las inversiones requeridas, comparando las alternativas siguientes

- a) Caso base : Combustión de petróleo (100%) con aire sin enriquecimiento con O<sub>2</sub>
- b) Carbón pulverizado, suministrado como tal, y con aire enriquecido (hasta 30% O<sub>2</sub>)
- c) Carbón pulverizado, suministrado como carbón grueso y con aire enriquecido (hasta 30% O<sub>2</sub>).

La decisión de incorporar un proyecto parcialmente suspendido respecto a la aplicación del sistema Oxy-fuel, motivó la suspensión de las pruebas programadas para la alternativa b) y el análisis de

- d) Tecnología Oxy - fuel (95% de Oxígeno)
- e) Tecnología Oxy - carbón (95% de Oxígeno)

A continuación se describe las actividades concernientes a las pruebas piloto, que finalmente no se implementaron, referidos a la combustión de carbón pulverizado suministrado como tal, y con aire enriquecido con Oxígeno hasta 30%.

## **2.6 PLANIFICACION TECNICA DE PRUEBAS EN EL HORNO REVERBERO N°2**

El esquema general de desarrollo del proyecto se estructuró en la siguiente forma (6)

- \* Cálculos preliminares para la sustitución
- \* Compilación de los datos técnicos y económicos de la operación existente.
- \* Inventario del equipo existente
- \* Asesoramiento de la Consultora de Ingeniería STOLBERG GmbH de Alemania, por convenio con GTZ (Sociedad de Cooperación Técnica de Alemania) : Elaboración de Estudios Técnicos.
- \* Visitas técnicas a las principales compañías usuarias de carbón en el país: Cia. Cementos Andino en Tarma, Cia. Cementos Lima S.A y Cia. Lar Carbón, ambas en Lima.
- \* Identificación de los parámetros de sustitución.
- \* Inversiones y costos de operaciones para la ejecución de las pruebas.

A continuación describiremos algunas de las actividades más relevantes en el desarrollo del proyecto.

### **2.6.1 CALCULOS PRELIMINARES PARA LA SUSTITUCION**

La responsabilidad de presentar alternativas para la reducción de costos por petróleo, implica la presentación debidamente justificada de los documentos que se elevan a la dirección de la empresa para obtener su aprobación y autorización para ejecutar la idea o el plan que se requiere desarrollar (6).

Por ello, se analizaron diversos aspectos y se realizaron estimaciones

teóricos previas que nos permitieran contar con la información suficiente par estructurar el plan a seguir.

Los cálculos preliminares para la combustión de carbón están definidos en el Apéndice N°07

Fue iniciativa personal el proporcionar se solicite la Cooperación técnica Alemana de la GTZ, la misma que fue autorizada y, realizadas las gestiones correspondientes, se logró su participación.

Se conformó un equipo multidisciplinario para desarrollar el programa de pruebas.

Con los resultados de los cálculos preliminares, se desarrolló un programa de visitas técnicas a las Cias Cementos Andinos y Cementos Lima S.A. para ver los detalles de sus equipos e instalaciones así como la operación y manipuleo del carbón pulverizado que venían utilizando desde el año 1989, con exitosos resultados, y con carbón grueso proveniente de Colombia, tratado y pulverizado en la Cia. Lar Carbón S.A ubicado en Lima.

## **2.6.2 PARAMETROS DE SUSTITUCION**

### **\* GRADO DE SUSTITUCION**

Una sustitución de 50% de petróleo por carbón en un reverbero (el reverbero N° 02) fue aceptada como nivel de cambio apropiado. Sin embargo, el problema de suministro de oxígeno en la cantidad requerida para la sustitución de 50% hacía considerar la alternativa de sustituir solamente 20% de la cantidad de petróleo requerida.

Sin embargo, se concluyó que una sustitución de carbón de 20% no puede dar resultado visible o significativo por lo que se tomó la decisión de sustitución hasta 50%

**\* REQUERIMIENTO DE CARBON Y OXIGENO**

Los requerimientos de carbón y de oxígeno a distintos grados de sustitución de carbón y distintos grados de enriquecimiento del aire con O<sub>2</sub> fueron calculados en el Apéndice N° 07.

A 28% de enriquecimiento del aire con O<sub>2</sub> se determina que los consumos son los siguientes :

Sustitución por carbón (%)	Consumo (t/día)	
	Carbón	Oxígeno
20	20	11.6
30	30	17.4
50	50	29.0

**\* DISPONIBILIDAD DE OXIGENO**

- La capacidad nominal de la planta de oxígeno disponible era de 25 t/día. La producción real era de 20 t/día solamente y no era lo suficiente para el requerimiento de las pruebas.
- Una nueva planta de Linde con la capacidad de 312 t/día no sería instalada hasta el año 1993, según estudios de 1987 (18) y proyectos existentes en 1991.
- Se propuso el alquiler de una instalación móvil para la producción de oxígeno suministrada por SQIL. La capacidad de una unidad sería de 72 t/día.

**\* SUMINISTRO DE CARBON**

El carbón pulverizado para las pruebas de sustitución sería de LARCARBON S.A, el mismo que es requerido para la producción de cemento en la planta de Cemento Andino S.A.

De acuerdo a los cálculos preliminares para el período de las pruebas se necesitaba el suministro de 50t/día de carbón pulverizado.

El requerimiento de cisternas y los cálculos correspondientes para diferentes casos de sustitución de carbón en estas pruebas se pueden ver en el cuadro 2-1

Los datos presentados en el cuadro N° 2-1 fueron obtenidos directamente de Cemento Andino y de LAR Carbón durante diversas reuniones entre representantes de Centromín, Cemento Andino y LAR CARBON.

LAR Carbón aseguró, que para el período de las pruebas de sustitución el suministro de una cantidad de 50 t/día de carbón pulverizado estaba garantizado tanto en la disponibilidad como en el transporte.

**\* SISTEMA DE DESCARGA DE CISTERNA, DE ALMACENAMIENTO Y DE TRANSPORTE NEUMATICO DE CARBON PULVERIZADO**

De las dos visitas a Cemento Andino se concluyó que sería necesario implementar en La Oroya el mismo sistema de descarga y de almacenamiento de carbón pulverizado que el existente en Cemento Andino, con algunas simplificaciones por razón del tamaño menos largo.

Los equipos requeridos para la descarga de las cisternas, el almacenamiento y para el transporte neumático del carbón pulverizado



son semejantes a los equipos en operación en Cemento Andino.

**CUADRO 2-1**  
**SUMINISTRO DE CARBON PULVERIZADO DESDE LIMA**  
**REQUERIMIENTO DE CISTERNAS**

	CEMENTO ANDINO	FUNDICIÓN DE COBRE		
		1 Reverbero 50%	1 Reverbero 100%	2 Reverbero 100%
Requerimiento de carbón/día	230 t/día	2t/h= 50t/día	4t/h= 100t/día	200 t/día
Cisterna por día				
Capacidad nominal: 30 t/cisterna				
Capacidad afectiva 25t/cisterna				
Capacidad total de almacenaje	2x900 t (para 8 días)	1x60 t (estas capacida	2x60 t des no preveen	2x120t una reserva)
Requerimiento de viajes de cisternas por semana (6 días/semana)	23x7 = ---- 25 = 65	50x7 = ---- 25 = 14	100x7 = ----- 25 = 28	2x28 =  25 = 56
Viajes por día	65/6=11/día	2,33	4,66	9,33
Viajes por semana por cisterna	2,5	2,5	2,5	2,5
Cantidad de cisterna requeridas	65 : 2,5 = 26	14 : 2,5 = 6	28 : 2,5 = 12	56 : 2,5 = 24

**2.6.3 DISEÑO PRELIMINAR DE LOS QUEMADORES DE CARBON CON AIRE ENRIQUECIDO CON O<sub>2</sub> (HASTA MAX. 30%)**

**\* SISTEMAS POSIBLES DE ALIMENTACION A LOS QUEMADORES DE CARBON PULVERIZADO**

Hay dos sistemas diferentes de alimentación a un quemador de carbón pulverizado:

a) El sistema directo de combustión. en el que el polvo de carbón sin descargar en tolva de almacenamiento, se envía directamente desde el molino de carbón al horno de combustión.

b) El sistema indirecto de combustión. en que el polvo de carbón es almacenado en una tolva de almacenaje antes de ser enviado a los quemadores. Este sistema es utilizado en Cemento Andino y sería utilizado en La Oroya.

En el sistema indirecto puede distinguirse entre un sistema con un sólo quemador (caso de Cemento Andino) y un sistema con varios quemadores (hornos reverberos de La Oroya):

a) Sistema con un solo Quemador

El carbón pulverizado puede enviarse directamente mediante un sistema de transporte neumático con aire de transporte desde la tolva de almacenaje. Antes de la bomba de transporte se encuentra instalado el equipo de dosificación.

Es de suponer naturalmente que el buen rendimiento del equipo de dosificación es muy dependiente de las características de la "descarga de la tolva". Por ejemplo en Cemento Andino.

b) Sistema con varios Quemadores

En este caso se envía el carbón pulverizado desde la tolva de almacenaje generalmente a una tolva intermedia más pequeña a partir del cual, mediante uno o varios dosificadores, el carbón (por

gravedad) es conducido a los respectivos flujos de aire primario de los quemadores. Como dosificador volumétrico se aplica exitosamente en muchos casos, entre otros el Bailey Feeder (1 B.F. para dos quemadores).

Por ejemplo, en los Copper Smelters de Zambia.

#### \* CONFIGURACION Y DISTRIBUCION ENERGETICA

Se disponía de 6 quemadores a petróleo colocados uno al lado del otro en fila horizontal.

El requerimiento de calor total del horno es:

$Q = 26\,260 \text{ Mcal/h}$  (valor supuesto)

Si la distribución es equitativa entonces cada quemador suministra

$$q_{1,N} = 0,167 \times Q$$

O sea  $4\,380 \text{ Mcal/h}$  por cada quemador o también  $422 \text{ Kg}$  petróleo/h por quemador (20).

Los quemadores a petróleo del tipo Hauck 785 tienen una capacidad máxima de  $445 \text{ Kg/h}$  ( $427 \text{ l/h}$ ) que representa una alimentación de calor de  $4628 \text{ Mcal/h}$  por quemador.

La regulación de la presión de la bomba permite variar el flujo de petróleo de cada quemador de un máximo de  $445 \text{ Kg/h}$  a un mínimo de  $0 \text{ Kg.h}$ .

\* **SUSTITUCION DE QUEMADORES A PETROLEO POR QUEMADORES A CARBON**

La sustitución tiene que ser en forma simétrica para que no se produzca desigualdades en la transferencia de calor.

Al sustituirse los quemadores de petróleo por los de carbón pulverizado, se tiene teóricamente las siguientes alternativas posibles:

**CANTIDAD DE QUEMADORES**

A	Petróleo	A	Carbón
	6		0
	4		2
	2		4
	0		6

Los quemadores a carbón serían todos idénticos, para realizar las pruebas.

Para la cantidad total de calor  $Q$  (Kcal/h) suministrada, un quemador a carbón tiene que suministrar cerca del 16,7% de la totalidad del calor requerido.

(O sea  $q_{2,n} - 0,167.Q = 4\ 380$  Mcal/h por quemador, es decir: 686 Kg carbón/h por quemador)

Por razón de la simetría de la combustión en el horno reverbero, es necesario de sustituir 2,4 o bien 6 quemadores de petróleo por

quemadores de carbón.

Las alternativas posibles de sustitución fueron analizadas en detalle y como resultado de este análisis se concluyó en lo siguiente:

- Es más apropiado sustituir 2 quemadores a petróleo por 2 quemadores a polvo de carbón.
- La potencia calorífica del quemador tiene que arreglarse entre 10 y 25% del requerimiento de calor total del horno.

Con esta configuración de los quemadores es posible de sustituir un mínimo de 20% y un máximo de 50% petróleo por carbón.

La potencia calorífica del quemador se encuentra entre los siguientes límites:

	MIN.	PROMEDIO	MAX.
Grado de Sustitución (%)	20	= 35	50
Mcal/h, quemador	2 626	= 4 600	6 565
Carbón, Kg/h, quemador	400	700	1 000

Suponiendo una sustitución de 100% de petróleo por carbón, la potencia de cada quemador tiene que ser arreglado al punto promedio, lo que significa un ingreso total de calor de:

$$6 \times 4600 = 27\,600 \text{ Mcal/h}$$

y un consumo total de carbón de :

6 x 700 x 24    100,8t/día

\* **DISEÑO PROVISIONAL DE LOS QUEMADORES**

En el apéndice N°7 se encuentran los cálculos de las velocidades de transporte de carbón en quemadores de 6" y 8" de diámetro, para los grados de sustitución de petróleo por carbón de 20% y 50% sin enriquecimiento y con enriquecimiento de aire (hasta 30%)

Los cálculos indican que las velocidades obtenidas con un quemador de 6" de diámetro son mas apropiadas que con el quemador de 8".

Sin embargo, la optimización tiene que hacerse en asociación con los suministradores de quemadores industriales.

\* **RELACION AIRE/COMBUSTIBLE PARA LOS QUEMADORES A PETROLEO RESTANTES DURANTE LAS PRUEBAS**

Durante las pruebas con carbón pulverizado en el horno reverbero los 4 quemadores restantes, a petróleo, deben suministrar el 50% del requerimiento calorífico.

Para tener completamente dominado el proceso, tiene que regularse exactamente la relación aire primario/carbón y aire primario/oxígeno, no solamente en los quemadores a carbón, sino también en los quemadores a petróleo; la relación tiene que ser perfectamente conocida y regulable.

A los Ingenieros y técnicos de instrumentación se les planteó ejecutar un proyecto para instalar sistemas automáticos de regulación aire/combustible de modo que al ejecutar las pruebas en el horno reverbero N°2, este parámetro sería controlable.

la relación de aire primario/petróleo debe manejarse en los rangos máximo y mínimo que indica el manual del quemador Hauck 785 correspondiente a la presión de aire respectivo.

Esta relación se puede establecer provisionalmente :

$$\text{Aire Total/Petróleo} = \frac{9,9 \text{ Kg. aire}}{1,63 \text{ kg Petr6leo}} = 6$$

$$\text{O tambi6n} \quad \frac{6}{1,288} = 4,7 \text{ m}^3\text{N aire/Kg Petr6leo}$$

#### **2.6.4 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE SUSTITUCION DE 50% DE PETROLEO POR CARBON Y ENRIQUECIMIENTO (HASTA 30%) DEL AIRE TOTAL PARA LA COMAUSON DEL CARN**

Para la sustituci6n de 50% de petr6leo en el Horno Reverbero N2, fue planteado reemplazar dos de los seis quemadores de petr6leo por dos quemadores de carb6n pulverizado. Estos dos quemadores de carb6n ser6an equipados para la alimentaci6n de Ox6geno.

A continuaci6n son presentados los tres casos de las pruebas:

- A. Caso 1: Reverbero N2 con petr6leo a 100%, sin ox6geno (situaci6n actual).
- B. Caso 2 : Reverbero N2 con la sustituci6n de 50% de petr6leo por carb6n, sin ox6geno (situaci6n intermedia).

C. Caso 3 Reverbero N°2 con la sustitución de 50% de petróleo por carbón y con el enriquecimiento del aire total de combustión de carbón pulverizado solo hasta 30% O<sub>2</sub> (situación final de las pruebas).

Los flujos están basados en el tratamiento diario en el Reverbero N°2 (es decir 660 toneladas de carga por día)

El aire primario corresponde a 60% del aire total. Solamente el aire primario es enriquecido con oxígeno (caso 3). pero la adición máxima de O<sub>2</sub> corresponde a una concentración volumétrica de 30% del aire total que se necesita para la combustión de carbón.

Para el diseño del equipo para las pruebas, no es considerado el incremento de tratamiento de carga realizable en el caso 3.

Los datos principales para la ejecución de las pruebas son resumidos en el cuadro 2-2, y en la figura N°01, los flujogramas respectivos.

## **2.6.5 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES**

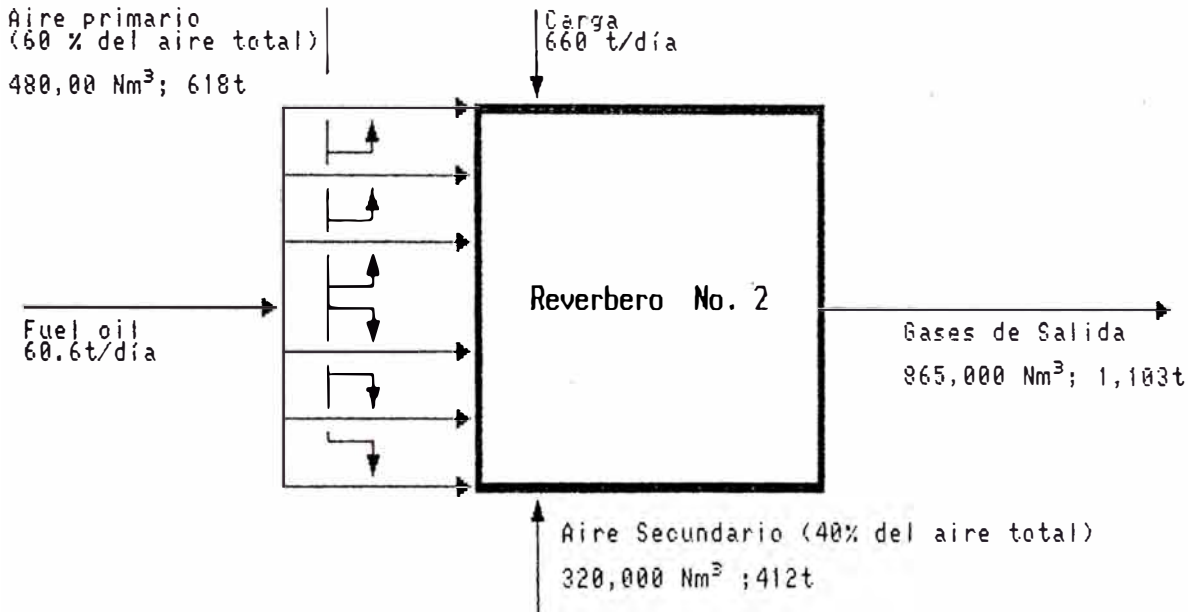
El flujograma del proceso es basado en el concepto anteriormente descrito por el sistema ATRITOR de Gran Bretaña.

- a) **SILOS PARA EL ALMACENAJE DE CARBON PULVERIZADO**  
El almacenaje de carbón pulverizado debe hacerse en sistemas completamente cerrados. El carbón pulverizado en la presencia de aire puede formar una mezcla explosiva.  
Por eso hay dos modos de construcción para los silos de almacenaje de carbón pulverizado:

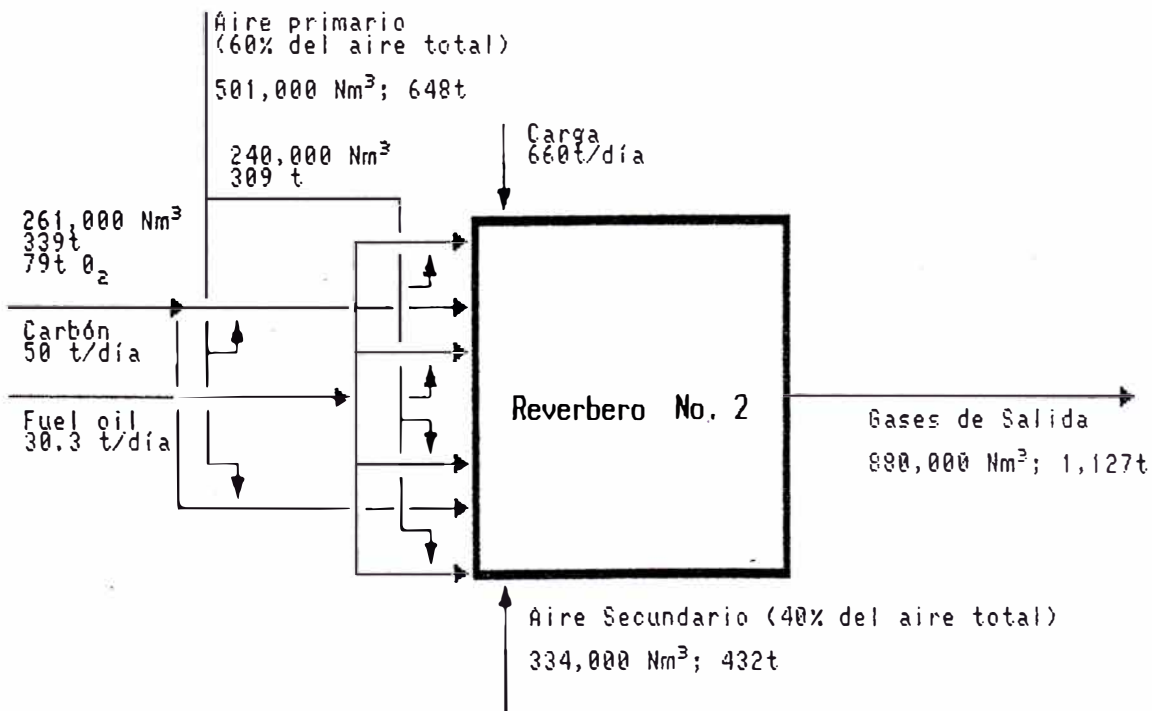


# FIGURA 1 FLUJOGRAMAS DE LAS ETAPAS DE SUSTITUCION DE FUEL OIL POR CARBON

## A. Caso 1: Fuel oil 100%; sin oxígeno

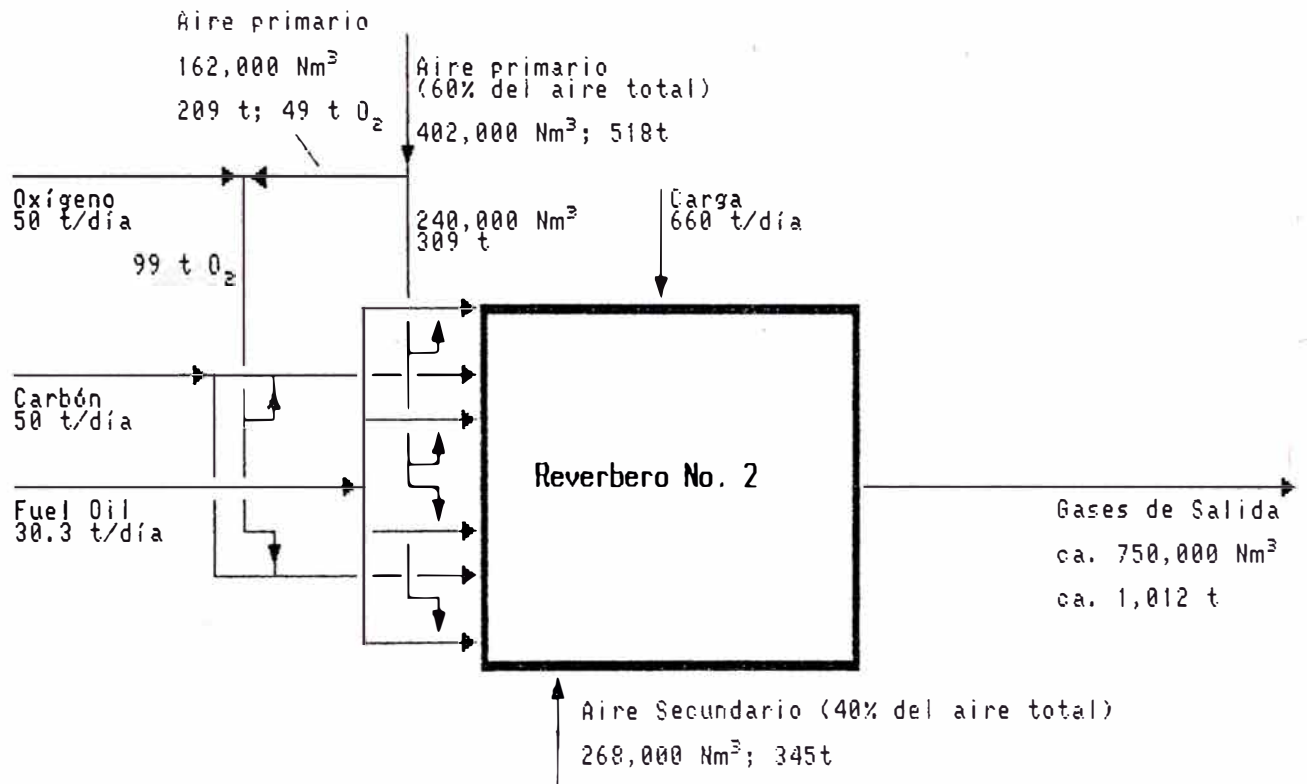


## B. Caso 2: Fuel oil; Carbon 50%; sin oxígeno



### C. CASO 3

FUEL OIL 50%, CARBON 50%, OXIGENO: ENRIQUECIDO HASTA 30% O<sub>2</sub> DEL AIRE TOTAL PARA EL CARBON



**Nota Importante:** En el diagrama del caso 3 no se considera el incremento potencial de tratamiento de carga por día, atribuido a la mejor utilización.

## CUADRO 2-2

### DATOS PRINCIPALES PARA LA EJECUCION DE LAS PRUEBAS EN EL HORNO REVERBERO N°2 (Tratamiento :660 ton/dia)

CASO	SUSTITUCION %	PETROLEO R-6	CARBON t/dia	Oxigeno t/dia	Enriquecimiento del aire total para carbon solo %O <sub>2</sub> Vol	Aire Nm <sup>3</sup> /dia	
						primario (*)	secundario (**)
1	0	60.6	0	0	21	480	320
2	max 50	30.3	50	0	21	501	334
	min 20	48.5	20	0	21	489	326
3	max 50	30.3	50	50	30	402	268
	min 20	48.5	20	20	30	449	299

(\*) aire primario para carbón y petróleo

(\*\*) aire secundario para carbón y petróleo

Con sistemas de atmósfera inertizada (con CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> o gases de combustión): no requieren sists. de alivio de presión.

Sin sistema de atmósfera inertizada (o sea con aire): requiere un sistema de alivio de presión y una forma cilíndrica del silo.

En el caso de la Fundición de Cobre de La Oroya:

- Se disponía de nitrógeno proveniente de la planta de oxígeno,

No se disponía de silos adecuados para operar sin atmósfera inertizada.

Por esta razón, el sistema con atmósfera inertizada fue seleccionada para las pruebas.

Para el almacenaje de carbón pulverizado se necesitaba una capacidad de por lo menos 60 toneladas.

Como no estaba disponible en La Oroya o en Centromín un silo adecuado, se ordenó ser construido este equipo localmente en los talleres de Centromín, La Oroya.

El ángulo mínimo de la sección de descarga del silo en forma de pirámide debe ser de 70 grados. Este ángulo es necesario para asegurar que el carbón pulverizado se descargue sin problema. El material de construcción de la pared de la tolva de descarga tiene que ser acero inoxidable; la tapa del silo debe ser plana para permitir la instalación de los accesorios.

El volumen total del silo se calculó en 218 m<sup>3</sup> y el volumen útil a 80% de esta valor, o sea 175m<sup>3</sup>.

La capacidad mínima es de

$$175 \times 0.40 \text{ t/m}^3 - 70 \text{ t.}$$

**\* SILO INTERMEDIO PARA LA ALIMENTACION DE CARBON PULVERIZADO**

Para el almacenaje intermedio, para la alimentación del carbón pulverizado, se utilizará un silo cilíndrico existente.

Este silo consistía en tres secciones anulares y de una sección cónica, con dimensiones aproximadas de:

**Diámetro : 2 450 mm.**

**Altura : 2 520 mm.**

La sección cónica debía ser cambiado por que el ángulo de descarga era pequeño, no permitiendo la fluencia libre del carbón pulverizado.

Aún cuando esta alternativa no estaba conforme a las normas generales para los silos de almacenamiento de carbón pulverizado, que prevén silos soldados, sin embargo, se consideró que con una precaución adecuada y considerando la duración limitada de la operación prevista, la incorporación de éste sistema no podría constituir problemas.

El volumen total del silo se calculó en 40m<sup>3</sup> y volumen útil en 32m<sup>3</sup>.

La capacidad es de 10 t de carbón pulverizado.

La elevación del silo será bastante alta para permitir la instalación más abajo del dosificador (o de los dosificadores) de carbón pulverizado a los dos quemadores.

**\* INERTIZACION DE LOS SILOS**

La inertización se hace mediante el desplazamiento de aire con CO<sub>2</sub> ó N<sub>2</sub>; en La Oroya se utilizaría N<sub>2</sub>.

Una atmósfera inerte se encuentra cuando la concentración de oxígeno es tan baja que no es posible que se encienda o haga explosión la mezcla de carbón pulverizado y aire. En el caso de carbón pulverizado el límite de la concentración de O<sub>2</sub> en el silo es 10% (condición atmosférica normal: 1 atm. 20%)

Si la concentración de O<sub>2</sub> está debajo de 2-3% se elimina la posibilidad de que se propague o se desarrolle la combustión.

En La Oroya el gas de inertización (N<sub>2</sub>) tenía que ser suministrado directamente a partir de la planta de oxígeno.

La presión del Nitrógeno a la salida de la planta de Oxígeno es de 1.4 bar.

Las cantidades de N<sub>2</sub> disponibles son como sigue:

- Planta existente de 20 t O<sub>2</sub>/día:

$$N_2 = 20 \times 76.7/23.3 = 66 \text{ t/día} = 2,200 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Para la planta existente, las cantidades disponibles del nitrógeno son

bastante grandes para efectuar siete veces por hora la evacuación de los dos silos y del equipo auxiliar (volumen total:  $218 + 40 + 42 = 300 \text{ m}_3$ )

Para la inertización de los silos se necesita el volumen de  $300\text{m}^3$  cada vez que se hace un transporte neumático de carbón pulverizado, por que el transporte neumático se hace con aire comprimido.

Además, para la prevención de la infiltración de aire en el sistema de los silos hay que mantener una presión un poco positiva y por eso se necesita un exceso de Nitrógeno.

**\* INSTRUMENTOS DE CONTROL DE LOS SILOS DE CARBON PULVERIZADO**

1) Nivel

\* Nivel bajo con alarma

\* Nivel alto con alarma

2) Temperatura

Indicador de temperatura con alarma de temperatura alta.

3) Composición de la atmósfera interna

Elemento de medición de la concentración de Oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y de Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ) con alarmas respectivas de concentración demasiado alta.

\* **EQUIPO AUXILIAR DE LOS SILOS DE CARBON PULVERIZADO****CUADRO 2 - 3**

Pos.	Descripción	Silo de Almacenaje	Silo Intermed.
1	<u>Tabique de explosión</u> número diámetro (mm)	1 1.400	1 800
2	<u>Compuerta de cierre</u> número dimensiones (mm)	1 300x300x120	1 120x100
3	<u>Golpeador neumático</u> con base y dispositivo rítmico número	2	1
4	<u>Red anular de</u> suministro de nitrógeno y toberas número de toberas	12	8
5	<u>Registro de acceso</u> diámetro (mm)	600	600
6	<u>Seguros a bayoneta</u>	4	2

**b) QUEMADORES Y EQUIPO AUXILIAR**\* **Observaciones Generales.-**

En la práctica original de hornos reverberos, el enriquecimiento del aire primario con oxígeno, en la tecnología de combustión de carbón



pulverizado, fue realizado mediante la introducción de un flujo separado de oxígeno por medio de un lanza instalada de manera inclinada debajo del punto de entrada de la mezcla de combustible y aire primario (4).

Esta práctica fue utilizada en la fundición de cobre de Rokanna en Zambia a partir de 1970 y el Cooper Clif, Inco, Sudbury, Ontario. El flujo de oxígeno entra en el horno debajo de la llama, protegiendo de este modo el techo del horno reverbero contra temperaturas demasiado elevadas.

Sin embargo, en estas condiciones la estabilidad de la llama de combustión con carbón pulverizado es incierta. Por esta razón fue seleccionada una tecnología diferente.

En el caso de la tecnología propuesta por Atritor en su oferta, una lanza central con un flujo de oxígeno axial separado fue prevista, sin mezcla previa con el aire primario.

En el caso del quemador Pillard el oxígeno es premezclado con el aire primario resultando el aire enriquecido antes de la entrada en el quemador.

**\* Control de la Combustión**

La fundición de la carga en el horno reverbero es controlada de la manera siguiente

- \* Control de perfil de la temperatura en el horno reverbero mediante el ajuste de la alimentación de combustible al nivel de tratamiento de la carga.

- \* Control de la combustión en el reverbero mediante el suministro de oxígeno en forma de aire primario, de modo de obtener una concentración volumétrica de oxígeno en los gases de salida normalmente entre 0.5 y 1.0%.

En los reverberos de la Fundición de Cobre de La Oroya se prefiere una concentración entre 1.5 y 2.0% por razón del alto contenido de impurezas volátiles (As, Pb) de la carga, para evitar la presencia de sulfuros en el sistema de enfriamiento de los gases de salida.

- \* Control de la presión (negativa) en el horno reverbero por medio de la regulación del tiraje y el ingreso de aire secundario.

El control de temperatura y de la combustión pueden hacerse de manera automática o manualmente.

En La Oroya los tres controles (temperatura, oxígeno en los gases de salida, presión negativo) se efectuaban manualmente.

En este proyecto se consideró que los controles automáticos debían limitarse al:

- \* Control de grado de enriquecimiento del aire primario.
- \* Control de aire de transporte de carbón pulverizado, y
- \* Control de la cantidad de aire primario total en relación con el suministro de combustible.

Durante las pruebas, el control de la temperatura se continuaría manualmente por medio del ajuste de la dosificación de carbón pulverizado.

También el control del % O<sub>2</sub> en los gases de salida se continuara de modo manual por medio del ajuste combinado de la cantidad de aire primario total con enriquecimiento y la cantidad de aire secundario.

c) **QUEMADOR DE CARBON PULVERIZADO CON AIRE ENRIQUECIDO, TIPO ATRITOR**

\* **Descripción del Quemador Atritor**

El quemador de Atritor consiste en los componentes siguientes:

**Canal central:**

El canal central consta de una lanza reemplazable para la alimentación de oxígeno puro. El material de construcción de la lanza es adecuada para la manipulación de oxígeno puro. El procedimiento de alimentación del oxígeno puro fue seleccionado por razón de que en la Gran Bretaña se considera el aire enriquecido con O<sub>2</sub> como oxígeno puro a partir de una concentración volumétrica de 27% de O<sub>2</sub>. Por eso, el enriquecimiento del aire primario necesitaría la utilización de un quemador de material de construcción especial, lo que sería demasiado caro.

Para la ignición inicial, la lanza de oxígeno es reemplazada por una lanza de petróleo.

**CANAL INTERMEDIO:**

El canal intermedio sirve al transporte neumático del carbón, a través del quemador, hacia el horno por medio de una parte del aire primario, El diseño del canal intermedio permite el transporte neumático de 400 hasta 1000 Kg/h de carbón pulverizado.

La cantidad de aire primario de transporte puede mantenerse constante o ajustarse de manera proporcional a la cantidad de carbón pulverizado alimentado en relación a la velocidad de revolución del dosificador.

#### **CANAL EXTERNO:**

El canal externo sirve para el suministro adicional del aire primario requerido para la combustión primaria. La cantidad del aire primario se modula de manera automática a la velocidad de dosificación de carbón, tomando en cuenta el grado de enriquecimiento en oxígeno deseado.

#### **REFRIGERACION DEL QUEMADOR :**

La sección del quemador que entra al horno es refrigerada con agua de refrigeración. Un control automático de flujo, presión y temperatura del agua fue previsto.

#### **\* DOSIFICACION DEL CARBON PULVERIZADO**

Para cada uno de los quemadores fue previsto un dosificador volumétrico con un dispositivo de arrastre para el carbón.

La Dosificación es controlada por medio del control eléctrico de la velocidad de cada una de las unidades y es interconectada con el aire primario total de combustión (es decir la suma del aire primario de transporte y de combustión).

#### **\* SUMINISTRO DEL AIRE PRIMARIO**

El aire primario es suministrado directamente a partir de la red existente de aire primario en la Fundición de Cobre de La Oroya.

Los datos del aire primario para el reverbero N°2 son:

**Flujo :** 11,000 - 13,000 m<sup>3</sup>/h (7,000 - 8,000cmf)  
**Temperatura :** 40 - 45 °C  
**Presión :** 13 a 15 kPa

El aire es suministrado en la red desde Casa de Fuerza con un soplador centrífugo con una capacidad total de 54,000 cmf y 18.9kPa.

**\* CONTROL DE COMBUSTION**

El flujo del aire primario total es medido y el flujo de oxígeno es controlado en relación con el flujo del aire primario total para obtener el enriquecimiento de O<sub>2</sub> deseado.

El flujo del aire de transporte de carbón es controlado proporcionalmente a la alimentación de carbón.

El exceso del aire primario (=diferencia entre el aire primario total y el aire primario de transporte) es controlado en relación con la alimentación de carbón.

Esta relación es seleccionada manualmente de modo que la concentración de oxígeno en los gases de salida corresponda al valor deseado (1.0 - 1.5%).

**2.6.6 EQUIPAMIENTO PRINCIPAL E INVERSIONES Y COSTOS DE OPERACION PARA LAS PRUEBAS**

**\* EQUIPOS PROVENIENTES DE GRAN BRETAÑA - ALTERNATIVA:**

## **SUMINISTRO DE CARBON PULVERIZADO A LA OROYA**

Dependiendo del sistema de obtención del carbón, por efecto del costo involucrado, se requieren ofertas de compañías especializadas en equipamiento para instalaciones de carbón pulverizado:

Por ello se obtuvieron ofertas detalladas:

De Alemania:

- \* Claudius Peters AG (CPAG): Para preparación del almacenamiento y del transporte de carbón pulverizado, y
- \* Pillard: Para los quemadores de carbón pulverizado con aire enriquecido.

De Gran Bretaña:

- \* Atritor: Para almacenamiento y quemadores de carbón pulverizado con aire enriquecido.

En esta sección vamos a describir lo que corresponde a la oferta seleccionada, la de ATRITOR.

Los equipos seleccionados para las pruebas piloto, corresponden a los equipos industriales usuales y se consideró que podían quedar en servicio en el caso de una implementación comercial de la sustitución.

**\* LISTA DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS PARA LA DESCARGA, EL TRANSPORTE NEUMATICO, EL ALMACENAJE DE CARBON PULVERIZADO Y QUEMADORES**

<u>CANTIDAD</u>	<u>D E N O M I N A C I O N</u>
	Sistema de carga del silo a partir del tanque transporte.
1 Pza.	Bomba hidráulica de 200 Kgf/cm <sup>2</sup> (max.300Kgf/cm <sup>2</sup> ) Tubería de 6" para línea de descarga del tanque Tubería de 4" para línea de alimentación de aire al tanque.
	Sistema de almacenamiento de polvo de carbón.
1 Pza.	Silo de almacenaje de 60t de capacidad.
2 Pzas.	Vibrador para silo de almace namiento.
1 Pza.	Cortina desplazable de cierre de silo de almacenaje
1 Pza.	Rodillo celular de sello de aire para tolva de almacenaje.
1 Pza.	Clapeta de explosión de tolva de almacenaje.
	Sistema de descarga del silo.
1 Pza.	Compresora de aire
1 Pza.	Reductor de presión.
1 Pza.	Bomba Fuller Kinyon u otra bomba neumática. Tubería de 6" para transporte de carbón,

Sistema de depuración del aire de carga al silo.

- 1 Pza. Depulverizador (ciclón)
- 1 Pza. Rodillo celular de cierre de aire para el ciclón.
- 2 Pzas. Filtro de mangas con gusano y esclusa celular de descarga.

Sistema de almacenamiento intermedio.

- 1 Pza. Depolverizador (ciclón de tolva intermedia).  
Silo intermedio
- 1 Pza. Clapeta de explosión
- 2 Pzas. Vibrador para silo intermedio
- 1 Pza. Cortina desplazable de cierre
- 1 Pza. Rodillo celular de cierre de aire de tolva intermedia.
- 1 Pza. Dosificador para los quemadores.
- 1 Pza. Rodillo celular de cierre de aire del dosificador.
- 1 Pza. Desvío para calibración del dosificador.  
Tubería de retorno de aire de 4".

Sistema de quemador a carbón pulverizado.

- 2 Pzas. Quemador refrigerado con agua.
- 2 Pzas. Tubo de inyección de oxígeno (si no es incorporado en el quemador).
- 2 Pzas. Quemador de encendido con petróleo.

\* INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS ADICIONALES

<u>CANTIDAD</u>	<u>D E N O M I N A C I O N</u>
2	Medición de nebulosidad del aire de escape



---

(2)	Válvula de alivio de presión.
3 x 2	Medición de temperatura.
2	Medición de temperatura.
4 x 2	Dispositivo de disipación de nitrógeno.
1 x 2	Medición de concentración de O <sub>2</sub> y CO.
12 x 8	Tuberías de inyección de nitrógeno.
1 x 2	Red de suministro de nitrógeno
2 x 1	Línea distribuidora de nitrógeno
	Paneles de ruptura para alivio de presión (5).
2 x 2	Válvulas de tipo solenoide de inyección de N <sub>2</sub>
2	Válvulas de alivio de vacío
2 x 2	Válvulas de mariposa neumáticas
1	Tablero de arranque de motor con controles
1 x 2	Sistemas de arrastre y caja de caída
1	Soplador rotativo, con filtro de aire, silenciador, Válvulas de alivio y de retención 595 m <sup>3</sup> /h, 0.75 bar
2	Válvulas de seguridad en las líneas de aire primario.
1	Tablero de control del sistema neumático
2	Dispositivo de control de llama.
2	Control de suministro de oxígeno (válvula, flujo) con sistema de seguridad y tablero de control.
1	Tablero de control de quemador con controles a circuito doble.
2	Medición de presión de agua (manómetro)
4	Medición de temperatura de agua
4	Medición de presión aire primario (manómetro)
2	Medición de flujo de aire primario.
	Ingeniería para la instalación de los equipos suministrados

\* **INVERSIONES EN EQUIPAMIENTO**

(1) **Equipos Provenientes de Inglaterra (Oferta Atritor)**

	US \$	DM
FOB Puerto Ingles L 233,955		
(cambio 2,95 DM/L)	431,354	690,167
CIF Lima (estimado)	15,625	25,000

<b>SUB - TOTAL (1)</b>	<b>446,980</b>	<b>715,167</b>
------------------------	----------------	----------------

(2) **Equipo Auxiliar Adicional no incluido en la Oferta de Atritor**

Golpeadores neumáticos	8 125	13 000
Conductos para el transporte neumático de carbón pulverizado	13 500	21 600
Otros	4 062	6 500

<b>SUB - TOTAL (2)</b>	<b>25,687</b>	<b>41,100</b>
------------------------	---------------	---------------

(3) **Equipo Opcional**

Medición de O <sub>2</sub> en los gases de reverbero para el control de combustión	13 125	21 000
---	--------	--------

Dispositivo de peso de productos intermedios líquidos (mata, escoria de convertidores)	7 500	12 000
---	-------	--------

<b>SUB - TOTAL (3)</b>	<b>20,625</b>	<b>33,000</b>
------------------------	---------------	---------------

<b>COSTO TOTAL</b>	<b><u>US \$</u></b>	<b><u>DM</u></b>
1. Atritor	446 979	715,167
2. Equipo auxiliar	25 687	41,100
3. Equipo opcional	20 625	33,000

<b>SUB - TOTAL (1) + (2) + (3)</b>	<b>493 285</b>	<b>789,257</b>
------------------------------------	----------------	----------------

Contingencia (10%)	49 329	78,927
--------------------	--------	--------

<b>TOTAL</b>	<b>542,614</b>	<b>868,199</b>
--------------	----------------	----------------

**(4) Abastecimiento Propio de Centromin, La Oroya**

**PRECIOS :**                      **DM**                      **US \$**

- \* Silo (60t) de almacenamiento de carbón pulverizado según diseño (1)
- \* Tolva (10t) intermedia de dosificación de carbón pulverizado (1)
- \* Tubería de suministro de oxígeno de la planta de oxígeno al reverbero (1)
- \* Tubería de suministro de nitrógeno de la planta de oxígeno a los silos de carbón pulverizado para la inertización (1)
- \* Motores de compresor (1), de ventilador (1) y de bomba de transporte neumático (1)
- \* Bomba hidráulica para la descarga de cisterna (1) (\*)
- (\*) Dispuesta por LAR CARBÓN (servicios de transporte de carbón pulverizado)

<b>SUB - TOTAL</b>	<b>98,000</b>	<b>61,250</b>
--------------------	---------------	---------------

**(5) Servicios de Centromin, La Oroya**

- |    |  |        |       |
|----|--|--------|-------|
| 1. | Transporte Lima\La Oroya<br>(1.5% de 5.5)  | 13,023 | 8 139 |
| 2. | Instalación de equipo a base de Ingeniería Básica y detallada.   |        |       |
| 3. | Sistemas eléctricos y conexiones eléctricas.   |        |       |
| 4. | Instalaciones de los instrumentos y controles; calibración de instrumentos conforme a las instrucciones previstas. |        |       |
| 5. | Puesta en marcha de las nuevas instalaciones   |        |       |

<b>SUB - TOTAL 2 - 5 (15% de 5.5+5.6)</b>	<b>144,930</b>	<b>90,581</b>
---	----------------	---------------

<b>TOTAL</b>	<b>157,953</b>	<b>98,721</b>
--------------	----------------	---------------

**INVERSION TOTAL**

- |    |                                      |           |             |
|----|--------------------------------------|-----------|-------------|
| 1. | Equipos Provenientes de Gran Bretaña | <b>DM</b> | <b>US\$</b> |
|    |                                      | 868 199   | 542,614     |
| 2. | Abastecimiento propio de Centromin   | 98 000    | 61,250      |
| 3. | Servicios de Centromin               | 157 953   | 98,721      |

<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>1'124,152</b>	<b>702,595</b>
------------------------	------------------	----------------

Comparativamente, la Inversión total para el caso de que se suministre el carbón grueso a la Oroya, es de 1'338,692 DM equivalente a US \$836 682.

### **2.6.7 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE LAS PRUEBAS DE SUSTITUCION DE PETROLEO (50%) EN EL REVERBERO N° 02**

La determinación de los costos de las pruebas de sustitución de 50% de petróleo por carbón y aire enriquecido con Oxígeno en el reverbero N°

02 se basó en las suposiciones siguientes:

- 1) Duración de las pruebas: 2.5 meses.
- 2) La planta de Oxígeno de 312 toneladas por día estaría en funcionamiento. Los costos de producción de Oxígeno (incluidos los costos depreciación y los intereses) son US \$42/ton.
- 3) Precios de carbón pulverizado y de carbón grueso puesto en la Oroya: US - 160 \$/t y US - \$ 59.14/t.
- 4) Precio de petróleo puesto en La Oroya: US - \$ 256.7 (precio actualizado en Enero de 1992; precio anterior US- \$ 265.0).
- 5) Los costos de mantenimiento son 6% de la inversión total por año. Estos costos incluyen la mano de obra de mantenimiento.
- 6) Suponiendo que los equipos instalados para las pruebas puedan ser utilizados en el futuro como parte del equipo industrial, sería posible de tomar en consideración una depreciación de 10 años mas intereses de 8% por año sobre la inversión total.
- 7) No se considera necesario proveer mano de obra adicional para la ejecución propia de las pruebas.

Con estas suposiciones los costos de las pruebas son determinados y el resultado es resumido en el Cuadro N° 2-4.

Determinación de los costos de la pruebas de sustitución de 50%.

CUADRO N° 2-4

	Suministro de carbón pulverizado en La Oroya	US \$	Suministro de carbón grueso en La Oroya	US\$
<u>Insumos adicionales</u>				
- Carbón	160 US\$/t x 50 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	600,000	59.14 US\$/t x 50 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	221,775
- Oxígeno	42 US\$/t x 50 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	157,500	42 US\$/t x 50 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	157,500
- Costos del petróleo	256.7 US\$/t x 30.3 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	583,351	256.7 US\$/t x 30.3 t/día x 30 días/mes x 2.5 meses.	583,351
Ahorro		174,149		204,076
<u>Energía eléctrica adicional</u>	124 kWh/h x 24x30x2.5x0.08 US\$/kWh	17,856	105 kWh/h x 24 x 30 x 2.5 x 0.08 US\$/kWh	15,120
<u>Mano de obra adicional</u>	Sin cambio	-	Sin cambio	-
<u>Mantenimiento adicional</u>	1,124,152 x 0.06x2.5/12	14,052	1,338,692 x 0.06 x 2.5/12	16,734
Costos directos adicionales		206,057		172,222
Costos fijos adicionales * Depreciación, 10% * Intereses, 8%	1,124,152, x 0.18x2.5/12	42,156	1,338,692 x 0.18 x 2.5/12	50,201
Otros costos fijos	Sin cambio	-	Sin cambio	-
Costos totales		248,213		122,021

## 2.7 EVALUACION DE LAS VENTAJAS ECONOMICAS DE LA SUSTITUCION DE PETROLEO POR CARBON Y DE LA INTRODUCCION DE OXIGENO

Para la evaluación económica fue necesario determinar los costos totales de operación del reverbero N°2, desglosados en costos variables y costos fijos, Cuadro N°2-5.

Costos de operación de Reverbero N°2 (sin combustible)

CUADRO N° 2-5

Pos.	Costos actuales existentes	Costos variables	Costos fijos
1	Personal	-	35,000
2	Energía eléctrica	-	2,100
3	Insumos	0.5	-
4	Mantenimiento		
	- talleres	2.4	10,700
	- servicios de contratistas	1.1	20,000
5	Alquiler de equipos	0.1	-
6	Depreciación de equipos existentes	-	71,000
7	Costos de personal indirectos	-	18,500
8	Costos indirectos de operación (overheads)	-	111,000
9	Costos totales	4.10 US\$/t	268,300 US\$/mes

**NOTA :** No se incluyen los costos directos de los combustibles. Además de tomar en consideración los consumos y precios de combustibles, se tomó en cuenta las ventajas metalúrgicas de esta situación, como por ejemplo:

- La introducción de oxígeno en el reverbero N°2 hasta un nivel de enriquecimiento de 28% resulta en un incremento de la capacidad de tratamiento:
  - \* en el caso de petróleo de 660 a 939t/día = 42%
  - \* en el caso de carbón pulverizado, de 621 a 927t/día = 49%

El rendimiento térmico se aumenta de 40 a 51%

El consumo específico de combustibles (fuel ratio) baja:

\* en el caso de petróleo de 9.1 a 7.9%

\* en el caso de carbón pulverizado de 14.9 a 12.4%

Suponiendo el contenido de cobre en la carga de 20.59%, la recuperación global de cobre de 96% y la disponibilidad de la planta de 90%, la producción de cobre anual se aumentaría de 40,000 a 60,000 toneladas.



**RESULTADOS ECONOMICOS DE LA SUSTITUCION:**

CASO	1	2	3	4
Combustible	Petróleo Nº6	Carbón Pulverizado	Petróleo Nº6	Carbón pulverizado
Enriquecimiento con O <sub>2</sub>	no	no	hasta 28%	hasta 28%
Tratamiento t/día	660	621	939	927
Costos específicos US\$/t carga	42.6	31.7	38.6	27.5
Costos específicos US\$/t Cu	215.6	160.3	195.0	139.1
Ahorro e/lb	-	2.5	1.0	3.5
Producción anual t Cu/año	42,268	39,770	60,160	59,394
Ahorro anual mill. US\$/año	-	2.20	-	3.74

**CONCLUSIONES DE LA EVALUACION ECONOMICA**

1. El suministro y la molienda de carbón grueso en La Oroya es económicamente más favorable que el suministro de carbón pulverizado. En este caso, el ahorro de los costos de petróleo compensa los costos de

carbón y oxígeno.

2. La pequeña diferencia entre las inversiones para los equipos sin molienda y con molienda no justifica la instalación de un sistema sin molienda. La pequeña diferencia entre las inversiones es atribuida a las inversiones altas que requiere el almacenamiento, el transporte neumático del carbón pulverizado y las medidas de seguridad asociadas.
3. La conclusión es que en el estado actual de relación de los precios de carbón grueso, carbón pulverizado y petróleo, puestos en La Oroya, es suficiente considerar como combustible primario para las pruebas de sustitución, el carbón grueso que tiene que ser triturado en La Oroya.
4. La sustitución de Petróleo por carbón pulverizado, en base a carbón grueso suministrado en La Oroya, resulta en una mejora de los resultados financieros de US\$2.2 millones por año, sin oxígeno y de US\$3.7 millones por año con oxígeno.
5. En conclusión, la introducción de oxígeno en el Reverbero N°2 tiene que ser acompañado de la sustitución de petróleo por carbón. ✓

### **3. GESTION DE LA ENERGIA EN LAS UNIDADES DE PRODUCCION DE CENTROMIN PERU**

En una Corporación con elevados consumos de energía, térmica y eléctrica, se presenta la necesidad de contar con un área que se encargue de desarrollar todos los trabajos que permitan reducir costos por exceso de consumos o pérdidas de energía en todos los puntos donde sea necesario.

La División de Energía, dependiente directamente de la Gerencia de Operaciones de Centromin Perú, con sede en la ciudad de la Oroya, Prov. de Yauli, Departamento de Junin, tenía la responsabilidad de realizar una gestión energética en toda la Corporación, con un equipo multidisciplinario de profesionales.

#### **3.1 GESTION ENERGETICA**

Es una forma de gestión empresarial y es un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro conversión y utilización de la energía, en cualquiera de sus formas.

El objetivo fundamental de una gestión energética es la obtención de un rendimiento óptimo, minimizando costos sin detrimento de la calidad y/o cantidad de producción en cada uno de los procesos o servicios donde el uso de la energía es indispensable.

Una gestión energética eficaz debe basarse en los principales aspectos que condicionan el consumo de energía en cualquier industria y son:

- a. Las fuentes de suministro de energía: petróleo, gas, carbón, electricidad,

deben ser conocidos en todos los aspectos.

- b. Almacenamiento y distribución: Los sistemas de distribución de petróleo, vapor, aire comprimido, redes de distribución eléctrica, deben ser revisados y optimizados.
- c. Equipos de consumo: calderas, hornos, motores eléctricos, etc, deben se evaluados permanentemente.
- d. Estudios de los procesos y equipos de producción: deben analizarse individualmente y como integrantes de los procesos.
- e. Formación y mentalización del personal: Debe ser el punto de partida para que una gestión energética tenga éxito.

### **3.2 METODOLOGIA PARA LOS ESTUDIOS DE OPTIMIZACION ENERGETICA**

La metodología empleada, sea para energía térmica o energía eléctrica varía según la instalación, (magnitud y complejidad), pero en general, se pueden sintetizar en diez pasos, practicados con éxito en las instalaciones de Centromin Perú, y conocido como auditoría energética.

- 1.- Identificar y reconocer la instalación: estado, operatividad, etc.
- 2.- Recolectar información: del proceso, consumos, costos, mediciones previas.
- 3.- Análisis previo de la información obtenida.
- 4.- Toma de decisiones: para un estudio detallado.
- 5.- Información complementaria de la planta.
- 6.- Trabajo de campo: programa detallado de mediciones.

- 7.- Procesamiento de la información detallada.
- 8.- Analizar alternativas de mejoras.
- 9.- Elaborar informe técnico - económico.
- 10.- Someter resultados a la decisión gerencial.

La Auditoría Energética puede subdivirse en dos etapas.

### **3.2.a PRE - DIAGNOSTICO ENERGETICO**

Para efectuar un pre - diagnóstico energético, se debe ejecutar los pasos (1) al (4), del punto 3.2.

En esta etapa se selecciona los instrumentos de trabajo, se elabora un cronograma de actividades y se determina los niveles de costos que involucrarían la realización de los estudios de Pre - Diagnóstico y el Diagnóstico integral.

### **3.2.b DIAGNOSTICO ENERGETICO INTEGRAL**

Esta etapa corresponde a los puntos (5) al (9) del punto 3.2.

La planificación y ejecución del trabajo de campo es la actividad más importante ya que los resultados servirán como base para los balances de materia y de energía.

Los balances energéticos requeridos difieren según la instalación y con frecuencia es necesario elaborar balances para la planta, integralmente y por procesos individuales.

Las mediciones deben ser tan directas como sea posible y para el caso de mediciones manuales frecuentemente conviene realizar una prueba

simple preliminar, antes de las mediciones finales. La planta debe operar sin perturbaciones antes de iniciar las actividades de medición.

La labor del Ingeniero Supervisor de Energía, como ejecutor de éstas actividades es de vital importancia, por lo que será necesario que dedique suficiente tiempo para observar la situación actual de la planta y estudiar los diferentes sistemas que comprende, elaborando esquemas del sistema y desarrollo del proceso productivo tomando notas del estado, funcionamiento y todos los detalles operativos necesarios.

Deberá revisar el registro de los partes de operación diaria y record de producción, y entablar una relación muy adecuada con el personal de operaciones. Generalmente, el operador de la planta, conoce muy bien el proceso operativo de su unidad, y sabe de las pérdidas energéticas que se presenta, pero su dedicación y compromiso con los objetivos de producción, no le permiten hacer los análisis y correcciones necesarias. Esta situación se presentaba de manera muy generalizada en todas las unidades del Complejo Metalúrgico de Centromin - Perú. Por ello, la labor de un Ingeniero Supervisor de Energía, resulta muy importante para la economía de los procesos, por que deberá oportunamente plantear las correcciones necesarias que en lo inmediato; eviten pérdidas de energía así como de presentar las alternativas de optimización debidamente justificadas.

### **3.3 PROGRAMA DE MEDICIONES**

El programa de mediciones es toda una actividad de campo que debe ser cuidadosamente planificada y coordinada con el personal de operaciones de cada unidad productiva; los pasos importantes que deben seguirse son:

- 1.- Tener bien definidos los parámetros que deben y pueden medirse.
- 2.- Identificar en la planta los puntos de medición.
- 3.- Seleccionar los instrumentos de medición conveniente y los métodos apropiados.

Los requerimientos que deben ser cumplidos para obtener correctos resultados de medición son:

- \* Uso de instrumentos confiables.
- \* Uso de métodos apropiados.
- \* Selección de un período adecuado para obtener resultados representativos de una medición.
- \* Procesamiento correcto de los resultados.

El Ingeniero Supervisor de Energía o su personal de apoyo debe realizar la supervisión respectiva para observar que la producción sea normal, y que todas las unidades estén en operación.

### **3.4 RECUPERACION DE CALOR DE LOS GASES DE COMBUSTION**

La recuperación de calor en una planta metalúrgica implica la transferencia de calor de un fluido caliente a otro frío con la finalidad de optimizar un proceso determinado.

De las reacciones de combustión, por la quema de combustibles, los

principales productos son gases en el rango de altas temperaturas, (650 a 1500 °C), mientras que de la emisión directa del calentamiento en unidades de procesos se producen gases en el rango de temperaturas medianas (230 a 650 °C).

Usualmente, la identificación de las posibilidades de recuperación de calor se define en función de los resultados de balance de materia y energía, y con ayuda de los diagramas SanKey se determinan los porcentajes de calor que se pierden con los gases de combustión emitidos en la atmósfera.

### **CALCULOS DE RECUPERACION DE CALOR**

Para determinar el potencial de recuperación del gas caliente se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = MC_p (T_g - T_o) \quad , \text{donde}$$

- Q – Flujo de calor recuperado (Kcal/h)
- M – Masa de gas recuperado (Kg/h).
- C<sub>p</sub> – Calor específico del fluido (Kcal/Kg°C)
- T<sub>g</sub> – Temperatura del gas a condiciones actuales (°C).
- T<sub>o</sub> – Temperatura del gas a la salida del sistema de recuperación (°C).

El valor de T<sub>o</sub>. limita la cantidad de calor de los gases de combustión que pueden ser recuperados debido a que los combustibles en su composición presentan ciertos elementos o sustancias que durante la combustión, forman sub productos que son perjudiciales.



Por ejemplo, el azufre, al reaccionar con el  $O_2$  forma el Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ) y un poco de Trióxido de Azufre ( $SO_3$ ), el cual a temperaturas de  $140\text{ }^\circ\text{C}$  y  $160\text{ }^\circ\text{C}$  (punto de rocío del ácido), reacciona con la humedad del gas de combustión produciendo el Acido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que se condensa en las paredes metálicas del equipo, corroyendo y deteriorando la estructura.

Adicionalmente existe la presencia de vanadio en algunos combustibles que actúa como catalizador de la reacción anterior, acelerando la presencia del ácido.

### **APLICACIONES PRINCIPALES**

La implementación de un sistema de recuperación de calor de los gases de combustión puede variar desde algo tan simple como un ducto de recirculación hasta algo tan complejo como una caldera de recuperación.

La energía que se pierde en rangos de alta y media temperatura es la más importante y la que económicamente justifica su aplicación y puede ser usada para precalentar el aire de combustión, por ejemplo: Calderas con precalentadores de aire, hornos con recuperadores, generación de vapor en calderas de recuperación de vapor para producir energía eléctrica o vapor para procesos, transferencia de calor a líquidos o sólidos de las unidades de procesos a través de ductos, recirculación en secadores y hornos, etc.

#### **3.4.1. PRECALENTAMIENTO DE AIRE DE COMBUSTION EN TOSTADORES DE COBRE**

En el Complejo Metalúrgico de La Oroya, se evaluó la posibilidad de

recuperar el calor de los gases de los tostadores que se encuentran en 450 °C, en los ductos de salida de cada tostador, conectado con el ducto principal común a todos los tostadores.

En el punto final de salida común de los gases, se realizaron las siguientes mediciones:

Temperatura	187 a 206°C
% O <sub>2</sub>	15.2 a 15.5%
Ppm SO <sub>2</sub>	18 000 a 20 000 Ppm.

Se determinó que la elevada cantidad de aire falso que se introducía entre la salida de cada tostador hasta su llegada al ducto principal reducía la temperatura a niveles poco utilizables además, de ser antieconómico ya que sería necesario utilizar intercambiadores especiales capaces de soportar condensaciones ácidas y a un elevado costo de adquisición.

Por lo tanto, la única posibilidad era recuperar calor en los ductos de salida de cada tostador, sin embargo el análisis económico determinó la inaplicabilidad de esta opción ya que se necesitaría dos intercambiadores para cada tostador y el mantenimiento sería costoso por la elevada cantidad de material polvoriento arrastrado por los gases de escape.

### **3.4.2 CALDERA DE RECUPERACION A PARTIR DE LOS GASES DE LOS HORNOS REVERBERO DE COBRE**

Dentro de un programa de auditoría energética para las distintas plantas del Complejo Metalúrgico, se determinó que el estado de las calderas de recuperación, existentes, en los hornos del Reverbero de

Cobre eran muy deficientes ya que la temperatura de los hornos a la salida final eran de 600 °C en promedio.

Los datos principales que permitieron estimar aproximadamente el potencial de producción de vapor que existía en los gases de los hornos fueron:

Tº gases de salida	: 1150°C
Tº promedio de salida (deseado)	: 350°C
Gases	: 724 290 ton/año
Calor másico de los gases	: 0,3Kcal/kg°C

El potencial horario disponible para la producción de vapor era de:

$$\frac{724\ 290\ \text{t/año} \times 0.3\ \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (1150 - 350)^\circ\text{C}}{8\ 760\ \text{hr/año}} = 19\ 844 \times 10^3 \text{Kcal/hr}$$

Con un rendimiento del 75% se puede producir

$$\frac{19844 \times 10^3\ \text{Kcal/hr}}{(670 - 100)\ \text{Kcal/Kg vapor}} \times 0.75 = 26 \times 10^3 \text{Kg vapor/hr} = 26\ \text{ton vapor/hora}$$

La producción real de vapor registraba una media de 21 t/h para tres calderas sobre una capacidad nominal de 41 ton/hr.

Se determinó que una revisión de las instalaciones y la de introducción de un mantenimiento sistemático debía permitir la producción de 5 ton/hr de vapor adicionales, con lo cual se podría precalentar el aire de combustión de los quemadores de petróleo en los hornos reverberos.

### 3.5 OPTIMIZACION DE LA COMBUSTION DEL PETROLEO RESIDUAL

En el complejo Metalúrgico de La Oroya, el principal combustible para las operaciones metalúrgicas es el petróleo residual N° 6 o Bunker "C".

El Ingeniero Supervisor de Energía térmica tiene la responsabilidad de verificar y proponer (en algunos casos implementar), las mejoras al sistema de petróleo desde su recepción (volumenes, análisis, pérdidas), almacenamiento (variación de Stoks, temperatura, aislamiento de tanques, equipos de bombeo, etc), distribución (redes de tuberías de petróleo, líneas traser, aislamiento de tuberías, equipos calefactores, etc) y óptima utilización (quemadores, balances de energía, análisis de gases, instrumentación, etc)

Gran parte de esta labor debe desarrollarse en equipo y en estrecha coordinación con los operadores de cada sección así como con los Ingenieros Supervisores de Energía de otras especialidades, como Mecánicos, Electricistas, Electrónicos y Metalurgistas.

### **3.5.1 CALENTAMIENTO DEL PETROLEO PARA BOMBEO**

Los petróleos pesados son muy viscosos, y para asegurar una buena performance de las operaciones del bombeo y de los quemadores, es necesario que sean calentados hasta que su viscosidad sea lo suficientemente baja.

El calentamiento del petróleo no sólo varía con el tiempo, sino también con la temperatura del ambiente en donde está almacenado.

Teóricamente, el bombeo de los petróleos pesados puede realizarse en el rango de viscosidad de los 3,000 a 15 000 SAYBOLT UNIVERSALT SECONDS (SSU) (o viscosidad equivalente en otras escalas) a 100°F (37°C) y 125°F, (51°C) es decir, si el petróleo tiene

una viscosidad mayor a 3,000 SSU, debe calentarse para reducir la viscosidad y lograr un bombeo satisfactorio. Asimismo, la temperatura de calentamiento del petróleo no debe ser tan alta por que causaría la vaporización de combustible.

La experiencia muestra que la temperatura mínima y máximas del petróleo N° 06 para el bombeo satisfactorio son de 97°F (45°C) y de 130 °F (55°C).

### **EQUIPOS DE BOMBEO**

Puede emplearse bombas centrífugas para transferir el combustible si su viscosidad es demasiado alta a la temperatura de bombeo. Normalmente se les debe usar para abastecer a los quemadores, pues la presión de descarga varía considerablemente con el régimen de bombeo. Este inconveniente puede ser corregido con adecuados instrumentos de control de la presión, pero a costa de un mayor gasto de instalación y mantenimiento.

Para suministrar petróleo a los quemadores y para transferir el combustible se usan bombas rotatorias de desplazamiento positivo ya que pueden transferir combustibles muy viscosos bajo condiciones que no permiten manipularlos con bombas centrífugas, además son de autocebado, pueden trabajar bajo condiciones de aspiración de alto vacío, y tienen un régimen de descarga casi constante.

Las bombas de Pistón, generalmente son usados únicamente en las instalaciones grandes, tanto para el suministro a los quemadores como para transferir el combustible.

### **EXPANSION TERMICA DEL PETROLEO**

Cuando la temperatura del petróleo es incrementada se expande en volumen.

Por ejemplo, el petróleo de 60°F (15.5°C), es decir, viscosidad de 100,000 SSU calentado a 212°F (100°C), 112 SSU, puede incrementarse un 6% en volumen. Por lo tanto, en los sistemas de líneas deben tomarse las provisiones necesarias para aliviar el incremento de presión.

### **3.5.2 ATOMIZACION DEL PETROLEO PARA LA COMBUSTION**

Para quemar eficientemente un petróleo pesado se debe tener en cuenta las siguientes definiciones:

- \* La atomización es definida como el resultado de una separación física de un líquido en partículas diminutas.
- \* Antes que el petróleo sea combustionado debe llegar al estado de vapor.
- \* Un calentamiento incorrecto, produce humo, formación de carbón y desperdicia combustible.
- \* Para fines prácticos, la temperatura de precalentamiento y la de atomización son idénticas.
- \* Un precalentamiento excesivo rompe térmicamente el aceite

produciéndose residual pesado y vapores livianos; estos últimos causan pulsaciones en el quemador.

- \* Cuando se logra una buena atomización del petróleo se tendrá mayor superficie o área que permitirá hacer una buena mezcla de aire-petróleo para la ignición.
- \* Si no se logra buena atomización no se producirá buena ignición y ello requiere exceso de aire y cualquier exceso de aire requiere combustible adicional para calentar el exceso de aire y ello se traduce en pérdida o mayor consumo de petróleo.
- \* Cuando la viscosidad del petróleo en el pico del quemador no es la adecuada, la atomización incorrecta puede causar la carbonización en el pico del quemador, formación de incrustación de carbón sobre las paredes del sistema o cámara de combustión u otras condiciones que originan mala combustión.

Los hidrocarburos pesados se depositan en el precalentador y en la salida de los quemadores.

Se recomienda que el rango de viscosidad en los quemadores sean como se indica a continuación:

<u>QUEMADORES</u>	<u>VISCOSIDAD</u>	<u>(SSU)</u>	<u>Tº(Cº)</u>
Pulverizador a presión y de vapor		100 a 200	104 a 85
Con aire a baja presión		80 a 90	110 a 107
De atomizador a vapor de agua		150 a 200	91 a 85
De atomizador mecánica		100 a 150	104 a 91
Con copa rotatoria		350 a 400	75 a 73

### **3.5.3 SISTEMA DE PETROLEO PARA LOS HORNOS REVERBEROS DE COBRE**

El petróleo que se utiliza en la fundición de Cobre es almacenado en tres tanques grandes situados en las faldas de un cerro. La capacidad de estos tanques es de 85 m<sup>3</sup> cada uno.

De allí el petróleo fluye por gravedad a cuatro tanques de alimentación llamados de "Servicio Diario", siempre calentados con vapor desde el tanque y en tubería de transporte.

Para su distribución a cada sección de la fundición, el petróleo es bombeado desde estos tanques de servicio diario hasta una sección llamada de la casa de bombas donde se acondiciona el petróleo con la tubería adecuada para su despacho.

Para fundir Calcina en los hornos reverberos de La Oroya, el combustible utilizado es el residual N° 06 o Bunker "C"; es un combustible barato en relación a otros disponibles pero requieren precalentamiento por su alta viscosidad.

#### **SISTEMA DE PRE-CALENTAMIENTO**

Cada tanque de almacenamiento, está dotado de un serpentín por el que circula vapor y que permite calentar el petróleo a 180°F.

Cada bomba centrífuga cuenta con un pre-calentador de vapor de agua tipo HAUCK, que mantiene la temperatura adecuada del petróleo para que pueda fluir.

Antes de entrar a quemadores, en cada horno reverbero se tiene un pre-calentador similar para elevar la temperatura del petróleo,



y asegurar excelentes condiciones de ignición y facilidad de atomización.

### **CONDICIONES DE OPERACION**

- Temperatura de entrada a casa de bombas. 62, °C.
- Pre-calentador N° 1 de casa de bombas : T - 72°C, P - 27 Psi.
- Precalentador N° 2 de casa - bombas: T - 74°C, P - 104 Psi.
- Presión de vapor: 30 -40 Psig.

### **TIPOS DE QUEMADORES EN LOS HORNOS REVERBEROS DE COBRE**

Se empleaba quemadores marca HAUCK de nariz larga, pues son ideales si se requiere que la lanza de quemador se extienda alguna distancia dentro del horno para que la llama empiece lejos de la pared de quemadores. Además trabaja con baja presión de aire para la atomización .

Todo los quemadore eran de la serie N°781 y de tipo de ajuste proporcional, es decir con una simple palanca se controlaba tanto el petróleo como el aire.

### **ALIMENTACION DE AIRE PRIMARIO**

- Para ambos reverberos, se empleaba únicamente aire primario y quemadores de tipo abierto de tal manera que cualquier aire extra para la combustión y/u oxidación de la carga entraba a través de la ventana de quemadores y otros aberturas por efecto del tiraje.
- El aire primario sirve para atomizar el petróleo y así asegurar una

buena combustión, por lo tanto, se debe establecer en forma correcta la relación aire/combustible.

### **ARREGLO DE LA RELACION PETROLEO/AIRE**

El regulador de presión del petróleo permite seleccionar la adecuada presión entre las capacidades mínimas y máximas del quemador.

Si la llama cambia de una llama pobre a bajo fuego, en una llama alta a alto fuego, entonces, la presión del petróleo es demasiada alta. Se corrige rotando el tornillo de ajuste del regulador de presión hasta obtener la presión apropiada.

Si la llama cambia de una llama rica a fuego bajo en una llama pobre a fuego alto, entonces la presión es demasiada baja, y será necesario incrementar la presión del regulador.

### **PROBLEMAS PRINCIPALES**

Mala atomización del petróleo, generalmente por la mala regulación aire/combustible; en este caso se debe mover los respectivos controles hasta hallar las presiones adecuadas. Puede deberse también al hecho de encontrarse la línea de aire sucia.

Excesivo flujo de aire, origina un mayor arrastre de polvo, lo que reduce la eficiencia del reverbero pues se recupera menos elementos valiosos de calcina y aumentará el número de paradas del horno para limpiar los tubos de los calderos ya que reduce el tiraje.

## **FUSION DE LA CARGA EN LOS HORNOS REVERBEROS**

Están referidas a la fusión de la calcina cargada con el fin de obtener mata y escoria, y depende de:

Secuencia de carguio - temp. de calcina.

Calidad de la calcina - temp. de operación

Cuando se carga calcina fría demora su fusión, aumentando el consumo de petróleo.

Igualmente si la calcina contiene mucha sílice, ésta no se fundirá y cubrirá las fases líquidas de los llamados flotadores de sílice.

A mayor temperatura, aumenta la velocidad de presión, pero se corre el riesgo de desgastar la pared refractaria.

Una temperatura adecuada es de 1200°C - 1300°C, además la temperatura de los gases en la parte final del horno, cerca a su evacuación no debe ser muy baja pues la escoria no se calentaría lo suficiente, aumentará su viscosidad y con ello la pérdida de Cu.

### **3.5.4 MEJORAS REALIZADAS**

Como resultado de los trabajos de campo y evaluaciones realizadas se detectaron aspectos de carácter operativo, de infraestructura, de inadecuado mantenimiento y otros factores que no contribuían a una óptima combustión del petróleo en muchas de las unidades de producción del Complejo Metalúrgico.

Por la extensión que involucraría la explicación de cada mejora realizada, solo se mencionan algunos aspectos importantes vinculados a la fundición de Cobre.

### **Recepción General**

Adulteraciones del petróleo transportado en cisterna.

Se detectaron cargamentos con exceso de contenido de agua, por inspecciones sorpresivas en las descargas.

Se recomendó un seguimiento desde el despacho en Lima hasta su recepción en La Oroya.

### **Almacenamiento Principal**

No existía regulación para la calefacción a vapor y los condensados de los serpentines no eran recuperados (consumo de vapor estimado en 720 ton/año).

La temperatura interior era del orden de los 70°C a 75°C.

**Se recomendó:**

- \* Regular la temperatura del petróleo a la mínima necesaria en el rango de 55° a 60°C, con una sonda termométrica que acciona una válvula de regulación de alimentación de vapor.

### **Almacenamiento de Servicio Diario**

En la planta de Tostadores de Cobre, dos tanques de servicio sin aislamiento.

La calefacción de vapor no era regulada y no se recuperaban los condensados (consumo de vapor estimado en 760 toneladas de vapor/año).

**Se recomendó:**

- \* Aislar los dos tanques con placas de lana de vidrio o de lana mineral, de 50 metros de espesor, protegida por una lámina de aluminio.
- \* Regulación de temperaturas similar a lo propuesto para los tanques principales.

Se estimó un ahorro anual de 310 toneladas de vapor:

Al analizar la recuperación de los condensados del vapor de recalentamiento de los sistemas de almacenamientos descritos, se encontró que si bien era técnicamente factible, (eliminando las trazas de petróleo), no era económicamente favorable.

### **Red de Distribución**

Se detectó gran cantidad de tramos de tuberías sin aislamiento o con aislamiento defectuoso.

Fugas de petróleo.

Líneas tracer muy separadas de la línea conductora de petróleo.

Red compleja e irracional.

Falta de instrumentos de control en muchos puntos de la red.

No había sistema de recuperación de condensados.

Sistemas de calentamientos eléctricos en mal estado.

Se propuso:

- \* En lo inmediato, las correcciones de fugas y aislamiento.
- \* Luego se diseñó y efectuó el Proyecto de Racionalización de la Red de Petróleo (aceptado y ejecutado), después de lo cual se implementaría el aislamiento y la instrumentación necesaria.

**Quemadores:**

- \* Falta de mantenimiento adecuado.
- \* Utilización de quemadores que no correspondía al régimen de operaciones de la unidad respectiva.
- \* Temperatura de llegada del petróleo, inferior a la recomendado (se quemaba petróleo hasta con 75°C.
- \* Inadecuada regularización de la proporción aire/combustible.

**Se propuso:**

- \* La ejecución de un programa conjunto con el área de mantenimiento de cada planta para las correcciones respectivas.
- \* Cursos de capacitación para los operadores.
- \* Instalación de calefactores eléctricos en la líneas de distribución de petróleo a los quemadores.

### **3.6 PLANES OPERATIVOS**

En Centromín Perú S.A. los Planes Operativos de cada División y Departamento se proponían anualmente para la aprobación inicial de las respectivas Gerencias y posteriormente, del Directorio de la empresa.

Eata etapa, de formulación y presentación de los Planes Operativos, resultaba ser una de las más importantes en el ejercicio, anual de cada área de la empresa por cuanto, de su aprobación dependía la asignación presupuestal correspondiente para la ejecución de las actividades y proyectos que requerían de los fondos necesarios para su implementación.

El suscrito ha sido el responsable, hasta el año 1995, de formular y

presentar los Planes Operativos de la División de Energía, los mismos que eran elaborados en base a los avances y logros obtenidos en el ejercicio anterior, los lineamientos de política de la Corporación así como de los factores internos (producción, resultados económicos y prioridades dentro de la empresa) y factores externos gravitantes en el país (precios de combustibles, tarifas electricas, proyecciones de oferta y demanda de energéticos y política del sector).

En el presente Informe, se incorpora el Plan Operativo de la División de Energía para 1996 tal y como fue presentado y aprobado por el Directorio de Centromín Perú.

### **3.6.1 PLAN OPERATIVO Y PRESUPUESTO 1996 DE LA DIVISION DE ENERGIA DE CENTROMIN PERU S.A**

#### **A. OBJETIVOS GENERALES**

Optimizar los requerimientos de energía en función de costos reales, considerando la operación de cada Unidad de Producción como unidad de negocios independiente y sujeta a las condiciones del mercado en el contexto del proceso de privatización.

Paralelamente se promoverá el uso racional de la energía y se intensificarán los esfuerzos para mejorar los índices energéticos en las diferentes unidades de producción.

#### **B. LINEAMIENTOS**

Las acciones corporativas se enmarcan dentro de los lineamientos de la política del sector de Energía y Minas, orientadas a contribuir en el gran objetivo nacional de lograr una mayor conciencia energética en los usuarios de todos los niveles poblacionales así como obtener el soporte necesario para las acciones a desarrollar en cada Unidad.

### B.1 LINEAMIENTOS ADMINISTRATIVOS

Las actividades del área de energía han estado dirigidas a cumplir planes corporativos, para lo cual, contaba con la siguiente organización dentro del organigrama de la Gerencia de Proyectos y Servicios Técnicos.



Las funciones y actividades desarrolladas para promover y crear conciencia en el uso racional de energía, son indispensables en toda unidad operativa, debido a que involucra luchar contra malos hábitos y costumbres que han sido una consecuencia de una determinada cultura empresarial y de ser productores, distribuidores y consumidores de energía eléctrica. Por lo tanto el establecer y ejecutar un programa de conservación de energía requiere la integración de capacidad técnica de las áreas involucradas y de habilidades administrativas para cumplir con los objetivos.

### B.2 LINEAMIENTO OPERATIVOS

Los planes y acciones a desarrollar serán en coordinación y



participación activa de los Comités de Energía de cada Unidad de Producción, con la finalidad de promover la transferencia de las actividades que deben ejecutarse para el uso racional de la energía. Las actividades a desarrollar durante el año 1996 están detalladas en los cuadros adjuntos.

### **B.3 LINEAMIENTOS ECONOMICOS**

Los gastos a incurrir al ejecutar el presente plan deben ser cargados a las Unidades de Producción, en las que se realicen los trabajos, de acuerdo al Plan Operativo.

## **C. PROYECTOS Y ACCIONES DE ADECUACION AL PROCESO DE PRIVATIZACION**

### **C.1 PROYECTOS Y ACCIONES ADMINISTRATIVAS**

Al independizar las unidades operativas, las funciones desempeñadas por el Area de Energía deben ser asumidas por áreas que tengan relación directa con el control y uso de energía, las cuales deberán formar un Comité de Energía, cuyo control de funciones y actividades dependerá de la Superintendencia General de cada UU.PP. Las funciones de estos Comités serán las de establecer políticas, metas y programas de conservación y sustitución de energía.

En cuanto al personal estable de la División de Energía, deberán ser declarados excedentes. El personal contratado que se encuentra realizando trabajos de la División de Energía deberán continuar con su labor hasta concluir el contrato.

### **C.2 PROYECTOS DE ACCIONES OPERATIVAS**

Las actividades que debe desarrollar el Comité de Energía de cada unidad son las siguientes:

C.2.1 Realizar anualmente auditorías energéticas

Objetivos

- Diagnosticar la situación energética de cada unidad.

Identificar las alternativas que permitan mejorar continuamente los índices energéticos.

C.2.2. Realizar campañas de difusión del uso racional de energía

Objetivos :

- Promover el uso racional de la energía
- Concientizar a los trabajadores en el uso racional de la energía.
- Se debe hacer esta campaña a través de los colegios, medios de comunicación como TV, radio y a través de los clubes de madres.
- Realizar conversatorios de energía, mostrando la realidad de cada unidad operativa en cuanto a consumo de energía.

C.2.3 Analizar el rendimiento de los principales equipos consumidores de energía como son

Compresoras, ventiladores, bombas, chancadoras, molinos, winchas.

Objetivo

- Estudiar la posibilidad de realizar desplazamientos de carga.
- Que estos equipos trabajen en el punto de máxima eficiencia.

C.2.4 Monitoreo continuo de los combustibles usados

Objetivo :

- Estar seguros que el análisis químico de los combustibles están de acuerdo a las especificaciones técnicas.
- Que las cantidades consumidoras están de acuerdo a los estimados.

C.2.5 Levantamiento de un Banco de Datos sobre los motores y

transformadores eléctricos que están en operación y stand-by.

Objetivo

- Tener un control integral para equipos.
- Tener la posibilidad de intercambiar equipos sobrecargados ó sobredimensionados.

C.2.6 Aislar todos los equipos de calentamiento de agua

Objetivo

- Evitar el uso de vapor directo para el calentamiento de soluciones.

Objetivo

- Optimizár el uso del vapor

#### **D. RESULTADOS ALCANZADOS EN EL AÑO 1995**

De acuerdo a los cuadros adjuntos se indica la labor desarrollada en el año 1995.

#### **E. PRESUPUESTO OPERATIVO 1996**

**PRESUPUESTO OPERATIVO 1996****DIVISION DE ENERGIA**

En US \$

DESCRIPCION	CODIGO	1º SEMESTRE	2º SEMESTRE
LABOR			
- PAS	01	93 328	103 150
MATERIALES			
- Materiales generales	31	3 260	3 396
SERVICIOS			
- Gastos de Viaje	41	1 875	1 875
- Instrumentos	47	2 500	2 500
- Entrenamiento	48	5 913	5 972
- Varios	49	10 288	10 374
MANTENIMIENTO			
- Materiales	52	12 362	12 934
- Talleres	53	7 164	7 760
CONTRATISTAS			
- Servicio de terceros	61	107 420	114 560
<b>TOTAL</b>		<b>233 822</b>	<b>251 647</b>

**F. PROYECTO DE INVERSIONES****F.1 PROYECTOS NO TERMINADOS Y REPROGRAMADOS PARA EL AÑO 1996**

De acuerdo al Plan Operativo 1996, entre estos proyectos tenemos:

**F.1.1 REMODELACION E INDEPENDIZACION DE CIRCUITOS ELECTRICOS DE MEDIA Y BAJA TENSION**

- AGI-050-95
- MONTO AUTORIZADO = US\$ 23,089
- MONTO REPROGRAMADO = US\$ 51,193
- FECHA DE INICIO = DIC-1995
- FECHA DE TERMINO = NOV-1996

**F.1.2 ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE MEDIDORES**

DE ENERGIA ELECTRICA EN LA PLANILLA PM Y PD

- AGI - D/S 2-95-1
- MONTO AUTORIZADO = US\$ 17,000
- MONTO REPROGRAMADO = US\$ 30,803
- FECHA DE INICIO = ENERO-1996
- FECHA DE TERMINO = MAYO-1996

**F.2 PROYECTOS NUEVOS PARA 1996**

F.2.1 PROGRAMA DE AUDITORIAS DE ENERGIA ELECTRICA EN CIRCUITO DE FUNDICION Y REFINERIAS

- MONTO SOLICITADO = 20,890 (US\$)
- FECHA DE INICIO = ENERO 1996
- FECHA DE TERMINO = JUNIO 1996

F.2.2 ESTUDIO DE OPTIMIZACION DE LA RED DE VAPOR EN REFINERIA HUAYMANTA.

- MONTO SOLICITADO = US\$ 9,650
- FECHA DE INICIO = ENERO 1996
- FECHA DE TERMINO = ABRIL 1996
- AHORRO ESTIMADO = 238,000 US\$/AÑO

F.2.3 EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO EN C. DE PASCO, MOROCOCHA, YAURICOCHA, SAN CRISTOBAL, COBRIZA

- MONTO SOLICITADO = US\$ 33,944
- FECHA DE INICIO = ENERO 1996
- FECHA DE TERMINO = JUNIO 1996

F.2.4 PROGRAMAS DE AUDITORIA ELECTRICA EN LAS UNIDADES DE PRODUCCION

- MONTO SOLICITADO = US\$ 46,893

- FECHA DE INICIO = ENERO 1996
- FECHA DE TERMINO = OCTUBRE 1996

F.2.5 PROYECTO DE IMPLEMENTACION DEL USO  
TERMAS A GAS

- MONTO SOLICITADO = US\$ 68,885
- FECHA DE INICIO = MARZO 1996
- FECHA DE TERMINO = JUNIO 1996
- AHORRO ESTIMADO = 216,000 US\$

## RESULTADOS ACUMULADOS AL 31 DICIEMBRE 1995

1 de 3

Nº	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	LOGROS OBTENIDOS	COMENTARIOS
1	Implementación de Medidores de energía eléctrica	1) Viviendas PAS-PMP en todas las UU.PP	100%	- Actividad concluida en la primera quincena de Diciembre 95.
		2) En los colegios de la empresa en las UU. PP.	100%	- Se emitió el informe de la instalación
2	Estudio de Optimización de Aire Comprimido	Casapalca	100%	- Falta preparar el informe final
		Cerro de Pasco	20%	- Se emitió informe sobre tratamiento de agua para las compresoras
3	Evaluación y Sustitución de Equipos Eléctricos en viv. PAS y PMP.	Oroya y Cerro de Pasco	100%	- Se probaron termas eléctricas TITAN (Direne-086-95) - Cocinas a gas termas a gas. - Falta emitir informe.
4	Estudio para mejorar el consumo de vapor en Refinería Huaymanta de la Oroya	- Se emitió recomendación sobre Poliblocks	100%	- Se emitió informe con remodelación. (Direne-107-95)
		- Se emitió informe sobre la red de distribución de vapor	20%	- Se va continuar implementando
		- Producción de vapor en el caldero Zn B-1	100%	- Se emitió las recomendaciones (Direne - 204 - 95)

Nº	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	LOGROS OBTENIDOS	COMENTARIOS
5	Estudio para mejorar el consumo de Combustible	1) Pruebas para usar aditivo para petróleo Bunker 6 en Tostadores de Cobre	100%	- En el mes de Abril se concluyó las pruebas dando recomendaciones para su implementación (Direme - 023 - 95)
		2) Estudio del consumo de combustibles a nivel empresa.	100%	- Se emitió informe con recomendaciones para ahorrar un 5% lo que equivale a 526,000 U.S. \$/año (Direme - 072 - 95)
		3) Recomendaciones para mejorar la combustión en ollas de Moldeo de Plomo	100%	- Se emitió informe con recomendaciones (Direme-089-95)
		4) Recomendaciones para calentadores de agua en los campamentos Plomos y buenos Aires de La Oroya	100%	- Se emitió informe con recomendaciones (Direme-122-95)
		5) Mejoras en las retortas de fusión de Zinc	100%	- Se emitió recomendaciones. - Se ha implementado, falta probar. (Direme-128-95)
		6) Estudios para reciclaje de Aceites Lubricantes	100%	- Se emitió recomendaciones. - Se ha cumplido en un 10% (Direme - 131-95)
		7) Evaluación de quemadores en Tostadores de Cobre	100%	- Se emitió las recomendaciones. - Se esta implementando por operaciones. (Direme- 152-95)



Nº	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	LOGROS OBTENIDOS	COMENTARIOS
		8) Estudio para racionalizar el consumo de combustibles en equipo livianos	100%	- Se emitió las recomendaciones. - Falta implementación. Direne - 155 - 95
		9) Distribución de botellas de oxígeno	100%	- Se emitió recomendaciones (Direne-191-95).
6	Campana de Ahorro de Energía	1) Dictado de charlas en las UU. PP.	95%	- Se dictó charlas sobre el ahorro de energía a la supervisión, PD, PM en Casapalca, Morococha, Cobriza, Yauricocha, Oroya. - Se formaron Comités de Energía.
		2) Campaña de Ahorro de Energía en los colegios.	20%	- Se llevo acabo reuniones para coordinar las campañas de ahorro de energía con los colegios. - Se realizaron desfiles de pancartas, concursos de afiches. - Se tuvo una participación del 90%
		3) Difusión de la campaña de Ahorro de Energía por TV y radio	100%	- Se preparó un vídeo con entrevistas a los diferentes funcionarios de CMP. - Se difundió mensajes de ahorro de energía a través del sistema de TV de Centromín
		4) Edición mensual de un Boletín Energético.	100%	- Se emitió a partir de Octubre (Direne - 230- 95)

# PLAN OPERATIVO - 1996

## DIVISION DE ENERGIA

### UNIDADES DE PRODUCCION MINERA

ACCIONES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PERIODO DE EJECUCION
1. Programa de Auditorías Eléctricas todas las Unidades de Producción. S/. 105,512 = \$ 46,893	Mantener actualizado el diagnóstico situacional de consumos reales, diagramas de carga y pérdidas existentes, para desarrollar alternativas de optimización y reducción de pérdidas de energía	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Monitoreos continuos y evaluación de parámetros eléctricos en las diferentes áreas de cada unidad, con analizadores de redes.</li><li>■ Detección de pérdidas por fugas a tierra, conexiones defectuosas.</li><li>■ Revisión de los sistemas de medición existentes y determinación de eficiencias reales de las máquinas y equipos eléctricos.</li></ul>	Tiempo : 10 meses Inicio : Enero `96 Finalización : Octubre `96
2. Evaluación de los sistemas de aire comprimido de las unidades de C. de Pasco, Morococha, San Cristóbal, Cobriza y Yauricocha S/. 76,374 = \$ 33,944.	Cuantificar la producción real de aire y las pérdidas existentes, para identificar las acciones correctivas de inmediata aplicación.	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Programa de mediciones de flujo de aire y determinación de pérdidas existentes.</li><li>■ Identificación de líneas innecesarias.</li><li>■ Evaluación de redes eléctricas involucradas.</li><li>■ Propuesta de mejoras inmediatas</li></ul>	Tiempo : 6 meses Inicio : Febrero `96 Finaliza : Setiembre `96

**PLAN OPERATIVO - 1996**  
**DIVISION DE ENERGIA**

ACCIONES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PERIODO EN REDUCCION
3. Optimización de manejo de cargas	Reducción de la máxima demanda, por desplazamiento de cargas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar algunas medidas implementadas y cuantificar ahorros.</li> <li>■ Obtención de diagrama de carga de las operaciones de Minas y de Concentradoras</li> <li>■ Seguimiento de las operaciones en los tres turnos de trabajo</li> <li>■ Evaluar factibilidad de un control automático de la máxima demanda.</li> <li>■ Propuesta de desplazamiento de cargas</li> </ul>	Tiempo : 6 meses Inicio : Marzo `96 Finaliza : Agosto `96
4. Estudios de remodelación de redes eléctricas e independización de circuitos S/. 115,182 = \$ 51 193.	Cuantificar las pérdidas técnicas en circuitos de producción y diseñar los componentes eléctricos acorde a las necesidades de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Estudios de ingeniería</li> <li>■ Especificaciones técnicas de materiales, de montaje, metrado y presupuesto.</li> <li>■ Planos y diagramas unifilares de los circuitos optimizados.</li> <li>■ Cronograma de ejecución</li> </ul>	Tiempo : 10 meses Inicio : Febrero `96 Finaliza : Noviembre `96
5. Evaluación del funcionamiento de equipos a gas de viviendas	Determinar la conveniencia económica que justifique la sustitución del uso de cocinas y termas eléctricas por equipos a gas licuado de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Adquisición de un lote de equipos a gas.</li> <li>■ Instalación en diferentes unidades.</li> <li>■ Pruebas de funcionamiento de equipos y consumo de gas.</li> </ul>	Tiempo : 3 meses Inicio : Marzo Finaliza : Mayo `96
6. Estudio de implementación de medidores de energía eléctrica en la planilla PM Y PD. `S/. 69,308 = \$ 30,803.	Determinar la necesidad de instalar medidores ó limitadores de energía en las viviendas de los trabajadores PD y PM de todas la UU. PP.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Identificar los diferentes tipos de vivienda.</li> <li>■ Especificaciones técnicas del material a usar.</li> <li>■ Instalar limitadores de corriente metrado y presupuestado</li> </ul>	Tiempo : 6 meses Inicio : Diciembre `95 Finaliza : Mayo `96

**PLAN OPERATIVO - 1996**  
**DIVISION DE ENERGIA**

**UNIDAD DE LA OROYA**

ACCIONES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PERIODO DE EJECUCION
1. Programa de Auditorías Eléctricas en circuitos de Fundición y Refinerías. S/. 47 002 = \$ 20 890	Diagnóstico de los circuitos eléctricos, evaluación real de consumos e identificación de las pérdidas existentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Programa de mediciones eléctricas por cada circuito de producción.</li> <li>■ Revisión de los sistemas de medición existentes y determinación de eficiencias reales de las máquinas y equipos eléctricos.</li> <li>■ Detección de pérdidas por instalaciones deficientes, conexiones defectuosas, etc.</li> </ul>	Tiempo : 6 meses Inicio : Marzo `96 Finaliza : Agosto `96
2. Optimización del sistema de vapor en Refinerías de Huaymanta. S/. 21 713 = \$ 9 650	Reducir el consumo de petróleo industrial para la generación de vapor en los calderos existentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Programa de mediciones de consumo de vapor</li> <li>■ Determinación de pérdidas y usos irracionales.</li> <li>■ Red óptima de distribución.</li> </ul>	Tiempo : 3 meses Inicio : Enero `96 Finaliza : Marzo `96
3. Pruebas de sustitución del Petróleo N° 500	Determinar las condiciones óptimas para el uso apropiado del petróleo N° 500 en las instalaciones de Fundición y Refinerías.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Identificar puntos de consumo principales.</li> <li>■ Evaluar posibilidad de independizar sistema de distribución, respecto al PR-6 o determinar conveniencia de mezcla.</li> <li>■ Evaluar y proponer las mejoras necesarias (mejorar fluidez y asegurar una óptima combustión).</li> <li>■ Ejecutar pruebas de escala industrial</li> </ul>	Tiempo :63 meses Inicio : Marzo `96 Finaliza : Agosto `96

**PLAN OPERATIVO - 1996**  
**DIVISION DE ENERGIA**

**ACCIONES CORPORATIVAS**

ACCIONES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PERIODO DE EJECUCION
1. II CONVERSATORIO DE USO EFICIENTE DE ENERGIA EN OPERACIONES MINERO METALURGICAS.	Motivar la ejecución de diversos trabajos de optimización en las unidades de CMP e intercambiar experiencias con empresas e instituciones nacionales y extranjeras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Formar comisión organizadora</li> <li>■ Convocatoria interna y externa</li> <li>■ Determinar financiamiento</li> <li>■ Realización de Agosto `96</li> </ul>	Tiempo : 7 meses Inicio : Febrero `96 Finaliza : Agosto `96
2. Campaña de motivación e incentivos al Ahorro de Energía	Propiciar la participación del personal de todas la áreas de cada unidad y mantener una motivación permanente para el uso eficiente de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Establecer sistemas de premiación para las unidades, secciones y personal de la Empresa.</li> <li>■ Evaluar los logros obtenidos, trimestralmente.</li> <li>■ Difusión por los medios de comunicación</li> </ul>	Tiempo :12 meses Inicio : Enero `96 Finaliza : Diciembre `96
3. Boletín mensual de energía	Informar permanentemente acerca de la situación energéticas de la Empresa y difundir resultados de estudios o logros obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Definir un formato de presentación</li> <li>■ Formar un Comité de edición que debe coleccionar la información a publicarse.</li> <li>■ Publicación para todas las unidades de CMP</li> </ul>	Tiempo :12 meses Inicio : Enero `96 Finaliza : Diciembre `96
4. Proyecto de implementación del uso de terma a gas S/. 154,922 = \$ 68 885	Sustituir el uso de la electricidad par obtener agua caliente, por termas a gas, en las viviendas PAS-PMP, de La Oroya y C. de Pasco	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Adquirir 300 termas a gas</li> <li>■ Establecer un sistema de distribución permanente de GLP.</li> <li>■ Implementar termas a gas en todas las residencias.</li> <li>■ Eliminar el uso de termas eléctricas y retirarlas</li> </ul>	Tiempo : 4 meses Inicio : Marzo `96 Finaliza : Junio `96

**PLAN OPERATIVO - 1996**  
**DIVISION DE ENERGIA**

ACCIONES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	PERIODO DE EJECUCION
5. Recopilación información técnica sobre usos del gas natural para operaciones minero metalúrgicas.	Disponer de información básica para formular proyectos de usos del gas, creando las condiciones para su introducción futura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recurrir a PETROPERU- Comisión del Gas de Camisea.</li> <li>■ Revisar bibliografía y documentación Técnica en bibliotecas.</li> <li>■ Consolidar información y clasificarla.</li> </ul>	Tiempo : 12 meses Inicio : Enero '96 Finaliza : Diciembre '96
6. Programas de capacitación en todas las unidades	Promover la "Concientización Energética", a través de cursos y charlas al personal de las diversas áreas de cada unidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Organizar cursos de combustión, sistemas de vapor, Auditorías Energéticas, Mantenimiento Energético, etc.</li> <li>■ Desarrollar el Programa Anual de charlas sobre energía eléctrica, para cada unidad de producción.</li> <li>■ Incorporar charlas sobre ahorro de energía en otros programas de capacitación (PROCAS, etc)</li> </ul>	Tiempo : 12 meses Inicio ; Enero Finaliza : Diciembre
7. Adquisición de equipos analizadores de energía e instrumentos de medición	Disponer de instrumentación y equipamiento adecuado para la realización de evaluaciones energéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Seleccionar equipos</li> <li>■ Formular requisiciones</li> <li>■ Coordinar la adquisición</li> </ul>	Tiempo : 6 meses Inicio : Enero Finaliza : Junio
8. contabilidad Energética	Establecer un sistema de control de los ahorros de energía logrados, para una real asignación de costos energéticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Determinación de consumos globales y específicos.</li> <li>■ Adquisición de software apropiado.</li> <li>■ Comparación de consumos, con estándares tecnológicos.</li> <li>■ Asignación de costos energéticos reales</li> <li>■ Control de los ahorros de energía</li> </ul>	Tiempo : 12 meses Inicio : Enero '96 Finaliza : Diciembre '96

#### **4.- SUSTITUCION DEL USO DEL PETROLEO INDUSTRIAL N° 6 POR PETROLEO DE ALTA VISCOSIDAD R- 500**

El petróleo industrial de alta viscosidad, conocido como R-500, al igual que el R-6 es un aceite combustible formado por los residuos finales de la refinación del petróleo crudo. Es más viscoso que el R-6 con un margen de viscosidad que abarca desde 5000 SSU (a 122°F) hasta límites superiores aún no definidos.

##### **4.1 PRUEBAS PRELIMINARES**

En Centromín - Perú se tuvo conocimiento del petróleo R-500 desde el año 1988, (producido y comercializado por Petroperú), y en 1991 se hicieron los primeros análisis para su incorporación en el circuito de producción de cobre, dadas las diferencias de precio entre el R-6 y el R-500.

Se consideró la posibilidad de efectuar pruebas en la descarga de los camiones cisterna por las condiciones de temperatura ambiental en La Oroya (efecto en el costo de transporte), así como en el bombeo para la distribución y su utilización en los hornos reverbero de cobre.

Por diversos factores, recién en el año 1993 se pudo efectuar pruebas de descarga y en el año 1995 se efectuaría la sustitución parcial de PR-6 en base a las recomendaciones formuladas y que se resumen en este informe (7).

##### **4.1.1 PRUEBAS DE DESCARGA - RESULTADOS COMPARATIVOS**

Estas pruebas se realizaron en el sistema de recepción de los tanques

principales de almacenamiento de petróleo del Complejo Metalúrgico.

PETROLEO R-6		R-500	
		DESCARGA 1	DESCARGA 2
CAPAC. CISTERNAS (GALONES)	8 000	9 500	9 700
TIEMPO EMPLEADO	45 min	2h 35 min	4h 13 min
PERIODO DESCARGA	10.20- 11.05 am	1.55-4.30 pm	1.57-6.20pm
Tº DEL AMBIENTE	10 a 12ºC	12 a 8ºC	12 a 6ºC
VAPOR INYECTADO	25 min 42 a 43ºC	(a) sin vapor 34 a 35ºC	(a) sin vapor 32 a 37ºC
T. DEL PETROLEO AL DESCARGAR	8º	8º	(c) 6º(2h.33')
o/TUB. EN CAJON DE RECEPCION			8" (1h.40')
RATIO DESCARGA (GALONES/HORA)	10 666	3 677	2 300

#### 4.2.1 RECOMENDACIONES PARA UNA ADECUADA UTILIZACION DEL R-500

Se propuso optimizar la descarga, asegurando algunas condiciones favorables, como las siguientes :



- a). La  $t^{\circ}$  de petróleo en la cisterna antes de la descarga debe ser de unos 42 a 45°C.

Era necesario asegurar una mayor temperatura de carguío en el despacho, (Lima), y que los camiones cisterna, no tengan retrasos por desperfectos mecánicos u otros factores.

- b). Usar tubería de 10" de  $\phi$ , en lugar de las existentes, de 8" y 6" de  $\phi$ , para facilitar la descarga a los tanques de almacenamiento.
- c). Solicitar a PETROPERU, que los camiones de transporte de R-500, sean acondicionados con serpentines de vapor, para el calentamiento en la descarga.

Asímismo, considerando que la sustitución de R-6 por el R-500 le reportaría significativos beneficios económicos a la Empresa estimado en 1.2 millones de \$ por año era necesario considerar las diversas mejoras que necesitaba el circuito general de petróleo, tanto en la distribución como en la combustión

- a). Acortando distancias de las líneas existentes, entre el almacenamiento y consumo.
- b). Independizando y aislando las líneas de vapor que se usan como tracer, pero que tienen derivaciones para otros usos, arrastrando condensados en las líneas.
- c). Optimizando los circuitos internos de petróleo, de cada planta o unidad de consumo, asegurando el funcionamiento de los quemadores con los accesorios recomendados por los fabricantes. y el calentamiento del petróleo, a la temperatura recomendada de

120° a 125°C.

- d). Como período de introducción que permita las observaciones del caso, solo se efectuaría una sustitución parcial del 20 al 30% del volumen total de petróleo que se adquiere de PETROPERU.

Un mayor porcentaje de sustitución, solo debería efectuarse en función de que se implemente las mejoras propuestas.

- e). La sustitución parcial deberá ser considerado como un Programa Piloto a efectuarse en los hornos reverbero de la Fundición de Cobre.

## **4.2 ESQUEMA DE PILOTAJE PARA EL USO DEL R-500 EN LOS REVERBERO DE COBRE, EN REEMPLAZO DEL PR-6.**

Para la elaboración del diseño, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones

1. El traslado del R-500, se realiza del tanque cisterna al tanque de servicio N°2.
2. Tres tiempos de descarga del tanque cisterna (capacidad 7000 galones).
3. Inyección directa del vapor al tanque cisterna, para disminuir la viscosidad del R-500 y facilitar su bombeo.
4. Instalación de una tolva de recepción entre el tanque cisterna y una bomba de petróleo que la enviará hasta el tanque N°2.
5. La purgación se realizará en los tanques de servicio antes de su ingreso a la Casa de Bombas.

**A) CONDICIONES ACTUALES :**

**LINEAS DE PETROLEO**

Tub. de 6" de diám. que viene desde los tanques de almacenamiento (línea alta).

Tub. de 3" de diám que ingresan y salen por cada tanque de servicio.

Tub. de 2" de diám. que ingresa a la Casa de Bombas de petróleo.

**LINEAS DE VAPOR**

Línea trazadora de 2" de diam. bajo la tubería de petróleo de 6" de diam (aislante en regular estado).

Tub. de 2" de diam. como auxiliar para los tanques de servicio N°2 y 4 (vienen de los H. Rev. Cobre).

Tub. de 1" de diam. para los serpentines interiores de los tanques de servicio N°1,2 y 3.

Tub. de 3/4" de diam. para el serpentín interior del tanque de servicio N°4.

**DE OPERACION**

Los tanques de servicio N°1,2 y 4 se encuentran operativos y los serpentines interiores en buen estado.

La bomba de petróleo que alimenta a los tanques N°1,2,3 y 4 se encuentra operativa, presentando dificultades de bombeo por los incrementos de viscosidad del petróleo frente a las caídas de presión en líneas de vapor.

## **B) TRAZADO DE LA LINEA DE PETROLEO Y VAPOR**

El diagrama 4-1 ilustra la disposición mas conveniente para el trasiego directo del petróleo R-500. desde el tanque cisterna hacia el tanque de servicio N°2.

Teniendo en cuenta que es un pilotaje, por un tiempo determinado, se ha obviado el sistema de línea tracer para reducir costos de tubería, aislamiento, instalación, etc.

La garantía de obtener las temperaturas necesarias radica en el adecuado calentamiento en la recepción y tanque de servicio.

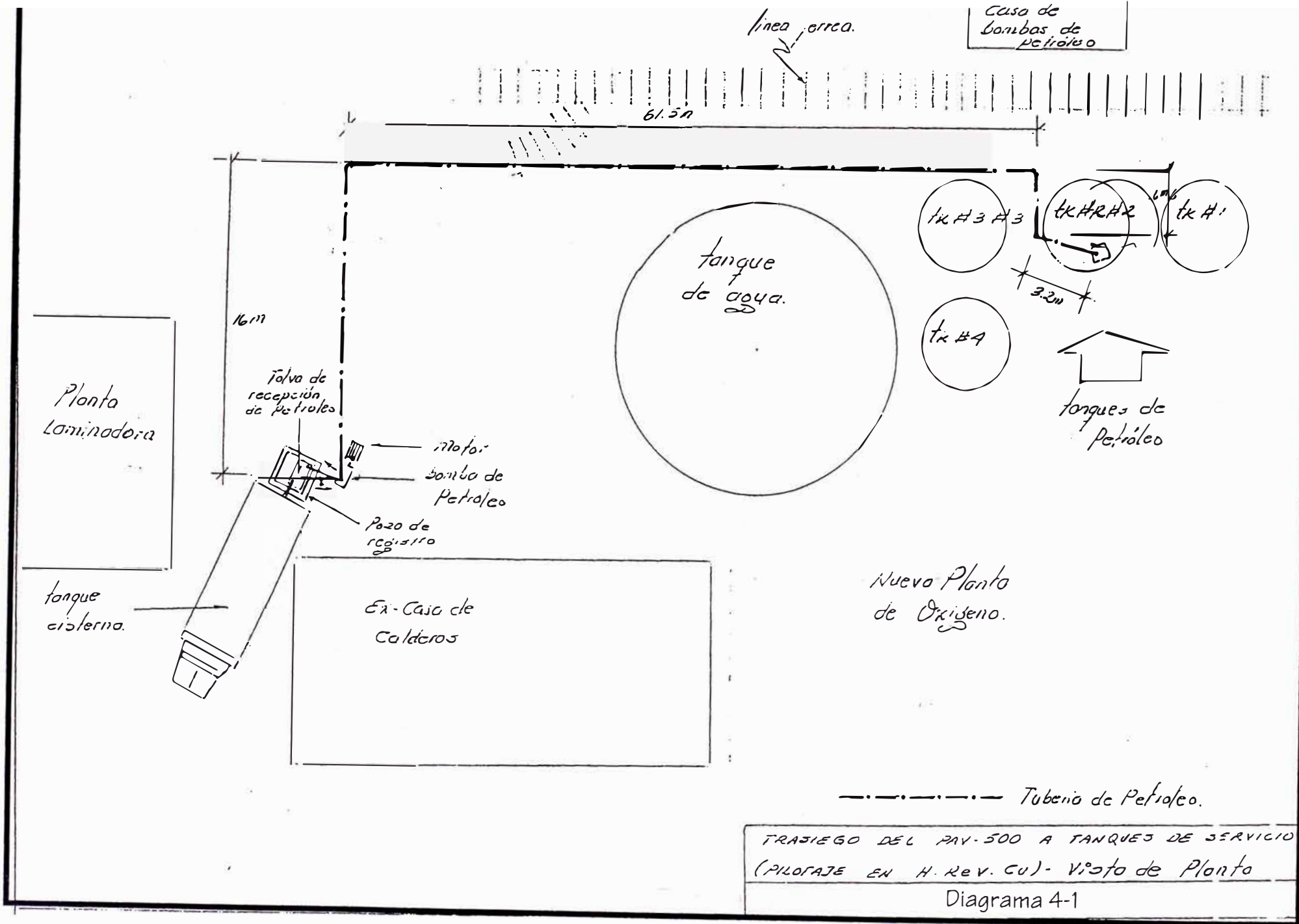
## **C) ELECCION DEL TANQUE DE SERVICIO PARA EL PILOTAJE**

El tanque de servicio N°2 ofrece una mayor garantía de mantener la temperatura adecuada (65-70 °C) del R-500 para su ingreso a la casa de bombas, por lo cual tiene una buena eficiencia de transferencia de calor.

A la vez nos permitirá asegurar que el R-500 ingrese exclusivamente a los quemadores del reverbero N°2.

## **D) TOLVA DE RECEPCION Y SERPENTIN DE CALENTAMIENTO**

Se ha considerado una tolva de 100 x 70 x 124 cms. como recepción del petróleo antes de su bombeo y para el retorno del volumen de petróleo que quedaría en la línea una vez terminado el bombeo (tolva hecha de 4 cilindros de material hojalata). Se determinó la necesidad de un serpentín de calentamiento con vapor en el interior de esta tolva que elevaría la temperatura del petróleo R-500 en unos 25°C.



**E) ADECUACION DE TEMPERATURAS :**

El vapor constituye la principal fuente de energía para los distintos sistemas de calentamiento existentes en el Complejo Metalúrgico.

Por ello se calculó las necesidades de vapor para el pilotaje a realizar, resumiéndose en lo siguiente

a. Para la Operación de Descarga en Camión - Cisterna.

Capacidad de cisterna	7 000 glns.
Tiempo de descarga	4 horas
	(caudal : 30 GPM)

b. En Precalentador de Tolva de Recepción.

$\Phi$ / Serpentín	20 pulgs.
Long. de Tub.	18 m
$\Phi$ / Tubo Serpentín	0.75 pulgs.
Caudal	30 GPM
Flujo de vapor	166 lb/hora

c. En tanque de servicio N°2

Capacidad del tanque	22 455 gals.
T° de ingreso de petróleo (min)	40°C
T° de salida de petróleo (min)	70°C
Flujo volumétrico (gal/hr)	1263

---

**BALANCE TERMICO EN EL TANQUE DE SERVICIO N°2**

	Calor Requerido		Vapor	Tiempo de
	(KW)	(BTU/hr)	(lb/hr)	calentamiento
PR-6	80.51	272985.7	489.19	1h 48 min
PAV-500	96.92	330722.2	588.90	2h 06 min

---

(los cálculos en el apéndice N°10)

**F) COMPARACION ECONOMICA DE LA SUSTITUCION**

La incorporación de R-500 al circuito de petróleo de la Fundición, ofrecería los resultados económicos que a continuación se resumen :

	R-6	R-500	AHORRO MENSUAL MILES U.S\$	AHORRO ANUAL MILES U.S\$
PRECIOS S/.gl \$/gl	1,26 0,614 (b)	1,10 0,536 (b)		
Consumo Mensual (100%) Galones	(a) 1 600 000	1 620 000		
Costos Mensual (100%)	\$ 982 400	\$ 868 320	114,0	1 368,9
COSTO MENSUAL CON SUSTITUC. PARCIAL				
DE : 10%	\$ 98 240	\$ 86 240	11,4	136,8
20%	196 480	173 664	22,8	273,6
30%	294 720	260 496	34,2	410,4
40%	392 960	347 328	45,6	547,2
50%	491 200	434 160	57,0	684,5

(a) Promedio de adquisición mensual a PETROPERU  
Equivalencia : 1.0 ton R-6 = 1,01 ton R-500.

(b) Diferencia de costo por ton, según precios :

R-6 = \$ 168,85  
(No se incluye fletes de R-500 = \$ 147,40 transporte)

Diferencia = \$ 21,45

### 4.3 USO DE ADITIVOS QUIMICOS

En la perspectiva de la utilización del Petróleo R-500, se recomendó en su oportunidad que se prevea no solo un adecuado tratamiento térmico sino también un tratamiento químico.



Se encontró que en el mercado existían aditivos químicos principales para el petróleo industrial N°6, por ello se propuso la adquisición de un aditivo químico y la realización de un período de pruebas para el tratamiento del petróleo N°6 en el circuito de la refinería de Plomo, por tener un sistema de alimentación de petróleo independiente, a las ollas de fusión y moldeo de plomo.

Todos los aceites combustibles derivados del petróleo, sean del grado destilado (diesel 1 y 2) o residual (N°5 ó 6), son susceptibles de sufrir problemas potenciales según sean procesados, transportados, almacenados y finalmente quemados en los dispositivos de combustión (14).

Muchos de estos problemas pueden ser corregidos o eliminados por medio de un adecuado mantenimiento mecánico, sin embargo se verificó que algunos problemas, requieren un aditivo químico debido a que, aún bajo almacenamiento y condiciones de mantenimiento ideales, la química del combustible es más crítica que los factores físicos.

Para un mejor entendimiento de las áreas donde se presentan los problemas del combustible residual, es útil diferenciar entre los problemas que se presentan antes de la combustión y aquellos que se presentan después de la combustión.

### **ESTABILIDAD DEL COMBUSTOLEO**

La estabilidad de un petróleo residual es su resistencia a degradarse por estar sometido a sucesivos calentamientos y enfriamientos, desde su producción hasta su consumo. El agua y el oxígeno aceleran grandemente la desestabilización del petróleo residual que se

manifiesta por la formación y deposición de lodos y gomas en el tanque de almacenamiento, precalentadores, tuberías y quemadores.

Un petróleo inestable causa los siguientes problemas :

Excesiva cantidad de lodo en tanques de almacenamiento.

Gran formación de carbón en los precalentadores por coquización de partículas grandes.

Salida de hollín por la chimenea o una gran cantidad de carbón en los depósitos de lado de fuego.

Sustancias gomosas espesas, encontradas en los depósitos de lado de fuego y en los filtros del sistema de combustión.

Debido a que se habían identificado situaciones como las descritas se trató de encontrar un objetivo adecuado para estos problemas; Sin embargo, en el mercado existen una variedad de aditivos que trabajan individualmente para los diversos problemas de manipuleo y almacenamiento y no existe un aditivo que solucione todos estos problemas. Los aditivos individuales existentes son: dispersantes, solventes, antioxidantes, inhibidores de corrosión, emulsificadores, microbicidas, etc (15).

Es frecuente combinar diversos aditivos en un simple programa para maximizar la eficiencia de combustión y reducir los costos de manteniendo y operación.

### **BENEFICIOS**

Los beneficios que se obtienen al usar aditivos químicos pueden resumirse como sigue

- a. Reducción del costo de limpieza del tanque.
- b. Reducción de la corrosión del tanque de almacenamiento.
- c. Recuperación de la capacidad del tanque de almacenamiento.
- d. Reducción en el mantenimiento de filtros y quemadores.
- e. Reducción de depósitos en el calentador de petróleo.
- f. Estabilización de la presión y temperatura del petróleo.
- g. eliminación de "cortes" de llama.

a. **REDUCCION DEL COSTO DE LIMPIEZA MECANICA DEL TANQUE.**

En caso de realizarse una limpieza mecánica es necesario considerar además del costo de la limpieza, el costo de la borra mismas la cual se formó a partir del petróleo por el que se pagó su verdadero precio.

b. **REDUCCION DE LA CORROSION EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

Es común encontrar tanques de almacenamiento de petróleo con las paredes internas severamente corroidas por los efectos de ácidos orgánicos y soluciones acuosas de sales de sodio y potasio, debido a la densidad e insolubilidad de los productos metálicos de corrosión. éstos tienden a depositarse en el lodo o "borra" en el fondo del tanque y por su naturaleza abrasiva pueden causar serios problemas, especialmente erosión en los quemadores.

c. **RECUPERACION DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

En la ausencia de dispersantes, las partículas orgánicas presentes en el petróleo tienden a coagular y a depositar en el fondo del tanque como lodo ("borra").

Este lodo orgánico representa una pérdida de BTU's si es que se

permite que sedimente en el fondo del tanque. Incluso el nivel de lodo o "borra" podría alcanzar el nivel de la válvula de succión de petróleo, ocasionado ensuciamiento de la misma válvula del filtro, y del quemador; ocasionando una disminución tanto del flujo de combustible como de la eficiencia de combustión.

**d. REDUCCION EN EL MANTENIMIENTO DE FILTROS Y QUEMADORES.**

La mayoría de sistemas de manipuleo de petróleo incluyen filtros de canastillas en las líneas. En aquellos sistemas plagados de lodo o "borra" la frecuencia de limpieza de estos filtros y de quemadores puede resultar perjudicial por el mayor requerimiento de mano de obra para la operación de limpieza.

**e. REDUCCION DE DEPOSITOS EN LOS CALENTADORES DE PETROLEO**

Si las gomas, barnices, resinas o partículas de carbón se depositan sobre las superficies de transferencia de calor, (típicamente calentadas por petróleo), el petróleo no se calentará lo suficiente para alcanzar la viscosidad adecuada, o de otro modo el petróleo requerirá excesivo vapor a fin de alcanzar la temperatura óptima. De no alcanzar la temperatura óptima se traduce a su vez en una deficiente combustión con las consecuencias de pérdida ya establecida.

**f. ESTABILIDAD DE LA PRESION Y TEMPERATURA DEL PETROLEO**

Al mantener la zona de pre-combustión de petróleo libre de gomas, barnices y resinas se permite que todos los componentes de esta zona trabajen según su diseño. Esto significa que tanto la temperatura como la presión en el quemador se mantendrán apropiadamente. Solo si la temperatura y la presión, y por consiguiente la viscosidad, son

controladas apropiadamente, se producirá una combustión eficiente.

**g. ELIMINACION DE "CORTES" DE LLAMA**

Si el agua no ha sido removida del petróleo o no ha sido emulsificada apropiadamente puede producirse una llama oscilante o en severos casos llegar a apagar la llama. Los emulsificadores permiten que el agua presente en el petróleo se evapore en una forma controlada.

**ADITIVO QUIMICO SELECCIONADO**

Se efectuaron diversas consultas con fabricantes de aditivos y por consideraciones de costo y referencias, se decidió probar con aditivos de la Nalco Chemical Co., quienes recomendaron lo siguiente:

- a. Aplicar el producto Nalco 2558 DRC. Este producto, previene la formación de lodos no aprovechables, sedimentos y capas de agua, conservando la capacidad de los tanques de almacenamiento de combustibles, asegura el rendimiento óptimo de las bombas, filtros, unidades de calentamiento y quemadores, previniendo la formación de borras e incrustaciones, condiciones necesarias para una eficiente combustión.
- b. Dosis recomendada : 2 galones de Nalco 2558 por cada 8,000 galones.
- c. Precio : envase de 206 Kg. = US\$ 1 290,4 (incluido IGV)
- d. Equivalencias : 1 galón de Nalco 2,588 = 4 Kg.  
1 ton. de petróleo = 275 galones  
29,0 ton. de petróleo = 8,000 galones
- e. Costo de 2 galones de Nalco 2558 = US\$ 50.1

Con los datos referidos. el costo adicional que habría que considerar

solo por tratamiento químico en la evaluación del uso de aditivos sería de :

(\$ 50,1)/29,0 ton de petróleo – \$ 1,73 por cada tonelada de petróleo.

## **5. CANTIDAD Y TIPO DE PERSONAL ADMINISTRADO**

### **5.1 EMPRESA PROMOTORA DEL CARBON S.A (PROCARBON)**

Como Ingeniero de Campo de la Empresa Promotora del Carbón S.A (PROCARBON) y responsable de Programa Experimental se tuvo a cargo el siguiente personal

Un (1) Ingeniero de campo, Bach. en Ingeniería Química funcionalmente dependiente del Ingeniero de campo responsable del trabajo experimental.

Un (1) Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, como asistente del programa de pruebas.

Dos (2) operarios.

Un (1) dibujante.

Posteriormente y después de tres años de labor como Ingeniero de Campo, fueron asignadas mayores responsabilidades y se administró personal adicional, incluyendo personal administrativo (secretarias, contador, etc).

### **5.2 EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A (CENTROMIN PERU)**

Como Ingeniero Supervisor de Energía se tenía la función de coordinación con las jefaturas de planta, Ingenieros de turno y personal obrero de todas las unidades operativas del Complejo Metalúrgico de

la Oroya, así como de las unidades de Producción Minera y de Concentradoras.

En función de los trabajos que se encomendaban, se dirigía personal de campo para las evaluaciones energéticas : operarios de laboratorio, obreros que efectuaban mediciones o tomadores de muestras, y practicantes de Ingeniería en las especialidades Metalúrgia, Química, Mecánica y Electricidad.

Posteriormente, se asignaron mayores responsabilidades, llegando a dirigir un equipo multidisciplinario de profesionales de Ingeniería incluyendo personal de apoyo y administrativo, en promedio de : doce (12) Ingenieros, dieciocho (18) obreros, un (1) dibujante y una (1) secretaria.



## **E. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES**

1. Las posiciones de Ingeniero de Campo y/o de Ingeniero Supervisor de Energía en muchos casos, es una posición inicial de un egresado de Ingeniería, dentro de una organización empresarial, a partir de la cual se pone en práctica la formación obtenida, en este caso, en la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera de la Universidad Nacional de Ingeniería, U.N.I.
2. Todo profesional que desarrolle una opción tecnológica necesita recurrir a experiencias pasadas o similares, identificando lo que se haya desarrollado y lo que sería necesario desarrollar o ser mejorado.
3. La experiencia nos demuestra que, en países como el nuestro, es necesario aprender a adaptar tecnología del extranjero y aprender de ellas. De esta forma podemos obtener niveles de competitividad en el mercado y lograr mejorar los índices de productividad.
4. El Proyecto de Fabricación de Briquetas de Carbón desarrollado en el Perú, con tecnología adquirida de países con mucha experiencia y éxito en el empleo de combustibles sólidos (Corea del Sur, China, etc), resultó ser una interesante oportunidad de uso de tecnología simple, barata, con muchos beneficios para el país y la oportunidad de hacer confluir a una serie de disciplinas de la Ingeniería (Química, Mecánica, Minería, Industrial) así como de otras actividades profesionales y técnicas.
5. El lento desarrollo de un combustible sólido, alternativo o sustituto del kerosene usado como combustible doméstico, ha estado influenciado por factores determinantes como son los siguientes

- El subsidio a los precios de los combustibles líquidos y gaseosos con fuerte perjuicio económico para el Estado.
  - Las costumbres arraigadas en la población y su dificultad o "incomodidad" para utilizar combustibles sólidos que le demanda una manipulación cuidadosa, una operación de encendido poco usual y desperdicio de energía si no se aprovecha eficientemente el calor que emite el bloque sólido de combustible.
  - Condiciones climatológicas en la Costa del país, inapropiadas para el uso del combustible de acción ininterrumpida (la briqueta no se puede apagar para después prender).
  - Necesidad de un serie de industrias, conexas para la fabricación de accesorios para su combustión y manipuleo.
  - Competencia desleal : El kerosene a precio subsidiado, competía frente a una briqueta de carbón con precios reales.
6. La industria de Briquetas de carbón se ha logrado desarrollar con éxito en otros países por factores y circunstancias muy especiales que favorecieron su desarrollo tales como:
- Abundancia de carbón apropiado con vetas de suficiente espesor para una operación minera óptima.
  - Cercanía de la ubicación de las minas de Carbón respecto al mercado de las grandes ciudades (no más de 100 km.)
  - Costos de transporte reducidos por cercanía de las minas y por

infraestructura favorable : carreteras en buen estado.

- Naturaleza del carbón en la mina, con características químicas y físicas apropiadas para el aglutinamiento o compactación directa, sin tratamiento previo, logrando abaratar el costo del carbón como materia prima para la producción de briquetas.
  - Condiciones climatológicas favorables, que generaron un mercado muy amplio para cubrir, simultáneamente, necesidades de calentamiento directo, calefacción y producción de agua caliente.
7. En el caso de un Ingeniero Supervisor de Energía, los conceptos de transferencia de calor, balances de materia y energía, diseño de plantas y economía de los procesos, son de aplicación cotidiana en las evaluaciones energéticas que debe realizar en toda instalación industrial, minera o metalúrgica.
  8. La labor como Ingeniero Supervisor de Energía resultó ser una experiencia muy valiosa debido a que desde ese puesto, la visión de un profesional de la Ingeniería se amplía desde el punto de vista de la optimización energética al ámbito global de la empresa, teniendo la responsabilidad de formular propuestas y/o proyectos de mejoras de los procesos o de las instalaciones, de manera localizada o integral.
  9. La energía está tan involucrada en cada sección o unidad productiva y de servicios de toda organización empresarial, que los profesionales que se inicien como Ingenieros Supervisores, adquieren la suficiente amplitud de análisis como para involucrarse en los aspectos decisivos de la empresa, analizando costos y

beneficios, y conociendo el manejo de la organización empresarial en su conjunto.

### **III.**

### **BIBLIOGRAFIA**

- (1) BENNETT EVAN, "Report to the United States International Cooperation Administration : Technical Assistance to the Anthracite Coal Industry in Perú", Banco Minero del Perú, Lima, 1957.
- (2) BRIQUETTE MANUFACTURING DIVISION, 1983, "Daesung & Energy", Technical Report of Daesung Industrial Co, Ltd. Seoul, Korea del Sur.
- (3) KIN, HAN, YANG AND SHIN, "Feasibility Study for establishment of anthracite briquetting plants in Perú", PNUD/PROCARBON, Lima-Perú, Oct. 1986.
- (4) HAUSEN P. Y MORGAN M. "Reverberatory Furnace Firing and operating practices on the Zambia Cooperbelt", Proceeding del 109 the Annual Meeting, the Metallurgical Society - Aime, Las Vegas, Nevada, 1980, 45 pags.
- (5) HUYHUA J., "Estudio sobre el ahorro de petróleo Bunker #6 a condiciones Oroya utilizando aire enriquecido con oxígeno y/o aire precalentado", Centromín Perú, La Oroya, 1983.
- (6) INCIO R., SEBASTIAN E. Y CABRERA A., "Estudio de sustitución del Petróleo Residual N°6 por carbón pulverizado en la Fundición de Cobre", Gerencia Central de Operaciones - Centromín Perú, La Oroya, 1991.
- (7) INCIO R., "Pilotaje para la utilización del PAV-500 en reemplazo del

Petróleo #6", Departamento de Energía, Gerencia de operaciones Metalúrgicas, Centromín Perú, La Oroya, 1991.

- (8) INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, INE, "Censos Nacionales de Población y Vivienda - 1981", tomos I y II, Lima- 1982.
- (9) KOREAN INSTITUTE OF ENERGY AND RESOURCES Y PROCARBON S.A, :Producción de Briquetas de Carbón con antracitas peruanas", Estudio Preliminar, Proyectos de Cooperación Técnica entre Perú y Corea, Lima, 1984.
- (10) LOBATO, A y LANDAURO A, "Hornos Metalúrgicos Industriales", San Marcos Editores, Lima-Perú, 1994, 345 pags.
- (11) MAYER - NORMAS DIN, "Reglamentación y estudios relacionados con la construcción de una Fabrica de Briquetas", Banco Minero del Perú, Lima, 1952.
- (12) MONGE, E., "Planta de briquetas manufacturada en la Factoría "El Aguila", Banco Minero del Perú, Lima, 1952.
- (13) MINISTRY OF ENERGY AND RESOURCES, "Energy Situation and Policy in Korea", M.E.R. - Republic of Korea, Seoul, 1987.
- (14) NALCO CHEMICAL COMPANY, "Soot - Slag - corrosion /control", Bulletin FT-2, U.S.A., Industrial División.
- (15) NALCO CHEMICAL COMPANY, "Fuel oil Sludge Treatment Programs", (Technology y Reference : PAC-9 Technical Manual, Section 9.6.1 "Fuel Oil"), 17 pags.

- (16) PETROPERU Y PROCARBON, "Carbón Sustituto del Petróleo", Lima - Perú, 1986 30 pags.
- (17) SEA HWAN RO, "Coal Industry of Korea", Korea Institute of Energy and Resources, Seoul - Korea del Sur, 1987.
- (18) SNC, "Pre Investment Study on the Use of Oxygen in the Cooper Smelting circuit of the La Oroya Smelter". Canadian International Development Agency and Centromín Perú S.A, Final Report, 1987, pags. 18-31
- (19) SOEDJOKO T., "Report of the job Training on Coal Briquetting Technique in Kier", Mineral Technology Development Center, Dier, Seoul, 1986, 28 pags.
- (20) STOLBERG INGENIEURBERATUNG GMBH, "Proyecto de sustitución de Fuel Oil por carbón pulverizado en los Hornos Reverbero de la Oroya", Convenio GTZ (Alemania) y Centromín Perú, La Oroya - Perú, vol I y vol II, 1992.
- (21) TARBUTT S., "Estudio técnico económico para la sustitución de Hidrocarburos por Antracita", Proyecto PNUD/DICD PER/85/001, Lima - Perú, 1986, 28 pags.
- (22) VIGIL J., "Especificaciones para la fabricación de Briquetas "Chimú" con melaza de caña", Banco Minero del Perú, Lima, 1957.
- (23) YANG, JUNG II, "Estudio preliminar sobre el desarrollo del uso doméstico de briquetas de carbón de Indonesia", Korean Institute of Energy and Resources, KIER, Seoul - Korea, 1981-1983.

## **IV. APENDICES**



## APENDICE N°1

### CARACTERISTICAS DE LAS BRIQUETAS TIPO DOMESTICO FABRICADAS EN PLANTA PILOTO PALLASCA (\*)

1.-	COMPOSICION QUIMICA	NORMA ALEMANA C.C. P.	NORMA
a)	Humedad		3 - 5 %
b)	Cenizas		10 - 12 %
c)	Volátiles		10 - 12 %
2.-	<b>DATOS FISICOS</b>		
a)	Prueba de caída malla de 30mm.	83%	83%
b)	Tambor (Micum) 25 vueltas por minuto (malla de 30mm.)	50 - 65%	65%
c)	Descarga en transporte (10mm)	2%	2%
d)	Resistencia contra agua	O. K.	O. K.
e)	Comportamiento en fuego.	O. K.	O. K.
	Ignición y combustión	O. K.	O. K.

(\*)Usando brea con: M. V; 71.2%; Cenizas: 3.0% y C.F.:25.8%.

Chimbote, 29 de Abril 1955

FUENTE: Banco Minero del Perú - Cia. Carbonera Pallasca.

## APENDICE N°2

### OPERACION DE PLANTA DE BRIQUETAS

(En un mes - Noviembre 1956)

DIAS OPERADOS	25
HORAS OPERADAS	447
PROMEDIO HORAS POR DIA.	18
CARBON USADO: FINOS DE LA LIMEÑA	
Composición del Carbón:	
- Finos de flotación	56.5%
- N° 05	12.5%
- N° 04	31.0%
BRIQUETAS PRODUCIDAS	1391 tons
PROMEDIO TONS. BRIQ. POR HORA.....	3.1
CONTENIDO DE MELAZAS (BASE SECA)	
Porcentaje del producto en peso	10.3%
ANALISIS PROMEDIO:	
Humedad	1.3%
Materia Volátil	7.3%
Carbón fijo	78.8%
Cenizas	12.6%
Azufre	0.7%
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	6566
Resistencia a la caída	210Kg
Resistencia al tamborileo	51%
Temperatura ignición en aire	450°C.

FUENTE: Report to the USA International Corporation, pag. 40;  
Banco Minero del Perú.

## APENDICE N°3

### INDICE DE LA BRIQUETA "CHIMU" SEGUN RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE CHIMBOTE DEL BANCO MINERO DEL PERU SOBRE MUESTRAS TIPICAS

Peso de cada Briqueta                      60 grs.

#### ANALISIS QUIMICO

#### NORMA

Humedad	1.3%	ASTM
Cenizas	12.5%	ASTM
Azufre	0.75%	ASTM
Volátiles	7.0%	ASTM

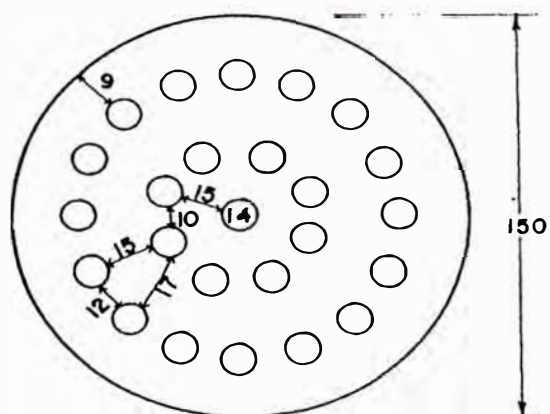
#### RESISTENCIAS

A la palanca	290Kg. (sin analizar caras)	DIN
Al corte	166 Kg.	DIN
A la presión (dureza)	100 Kg/cm <sup>2</sup>	
Al tamborileo	70.0%	ASTM
A la caída (choque)	87.4%	ASTM
- Tamaño	2 a 1 "	
- Punto de ignición	410 °C	DIN
- Cenizas-Deformación	1090 °C	DIN
- Cenizas-Ablandamiento	1245 °C	DIN
- Cenizas - Fluidéz	1275 °C	din
- Poder Calorífico	6473 Kcal/Kgr. Parr-Manual 120	
- Pruebas de agua	90% Impermeabilidad	

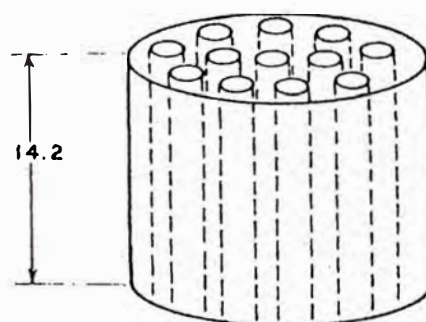
FUENTE:        Fabricación de Briqueta " Chimú " con melaza de caña;  
                  Anexo N° I, Ing. J. A. Vigil, Enero de 1957.

# BRIQUETA COREANA DE CARBON

## APENDICE 4

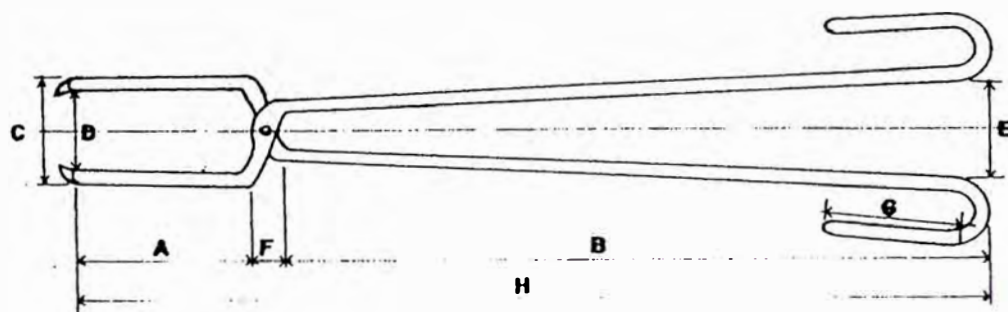


VISTA SUPERIOR



VISTA GENERAL

## FORMA Y DIMENSIONES DE LAS TENAZAS PARA MANIPULAR LA BRIQUETA



LEYENDA	DIMENSIONES (en mm.)
A	100
B	500
C	68
D	48
E	60
F	20
G	70
H	620

## APENDICE N°4

### CARACTERISTICAS DE LAS BRIQUETAS DE CARBON EN COREA DEL SUR

TIPO	Diámetro (mm.)	Altura (mm.)	Peso (Kgr)	N° de orificios
N° 1	135	132	2.6	19
N° 2(*)	150	142	3.6	22
N° 3	215	142	4.8	25
N° 4	286	142	7.5	31

(\*) La más popular en el uso doméstico.

### TIEMPO DE CONSUMO DE UNA BRIQUETA DE CARBON (En Horas)

PesoCalorífico (Kg)	Poder (Kcal/Kgr)	Número de agujeros abiertos				
		todos	5	4	3	2
3:6(+)	4,600	4:20	9:50	10:30	12:35	14:15

(+) La duración promedio de una de estas briquetas es de 10 horas.

FUENTE: DAESUNG BRIQUET DEVISION, Korea del Sur. 1980

## APENDICE N°5

### BRIQUETA ENCENDEDORA - COMPONENTES PRINCIPALES

Una pequeña briqueta con carbón de madera, es llamada un iniciador o encendedor de la briqueta usada como combustible. Su forma, tamaño de los orificios, número de orificios de circulación de aire y diámetro. son idénticos a la briqueta. Tienen 30 mm. de altura y 150 a 200 gr. de peso.

Un agente comburente, la combinación de adecuados elementos químicos y aserrín de madera, son mezclados y concentrados en la parte central de la briqueta encendedora. Este iniciador tiene la particularidad de emitir pocos humos y necesitar un tiempo corto para el encendido.

#### FORMULACION BASICA

<u>Componentes</u>	<u>Caso 1</u>	<u>Caso 2</u>	<u>Caso 3</u>
Aserrín carbonizado	100	100	100
Na NO <sub>3</sub>	18	16	15
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	32	36	38
K Cl O <sub>3</sub>	--	--	03
almidón	3-4	3-4	3-4
Na OH (solución)	Aprox. 2 a 3%		

Adicionalmente existen otras mezclas que incluyen principalmetne : hexamina, paraformaldehído, polietilenglycol y oxalato de sodio.

#### A. Uso de oxalato de sodio

Aserrín carbonizado	100	100
---------------------	-----	-----

oxalato de sodio	3	3
K Cl O <sub>3</sub>	20	--
Na NO <sub>3</sub>	--	18
Al (polvo)	2	2
Ca CO <sub>3</sub>	2	2
almidón	3	3
2 a 3% NaOH(solue)	según lo requerido	

**B. Uso del Hexamine**

Aserrín carbonizado	100	100	100
Hexamín	35	25	40
Na NO <sub>3</sub>	10	18	20
Ba (NO <sub>3</sub> )	20	--	--
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	--	20	--
almidón	3	3	3
2 a 3% NaOH(solue)	según lo requerido		

**C. Uso del polyetilen glicol**

Aserrín carbonizado	100	100	100
Polyetilenglicol	10	10	20
Na NO <sub>3</sub>	18	15	--
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	30	10	40
Hexamine	--	20	--
K Cl O <sub>3</sub>	--	--	15
almidón	3	3	3
2 a 3% NaOH(solue)	según lo requerido		

## **APENDICE N°6**

### **APLICACIONES DE LA BRIQUETA DE CARBON EN MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS**

Diversas aplicaciones de la briqueta de carbón como combustible es posible de implementar en las micro y pequeñas empresas, y específicamente existen experiencias de aplicación en los siguientes casos

#### ■ **INDUSTRIA AVICOLA**

Calefacción en criaderos de aves, reemplazando a las campanas calefactoras que utilizan gas para propagar calor.

Se han desarrollado diseños experimentales con las unidades básicas de combustión y proyectando un sistema de circulación de gases calientes con ductos de hojalata, en los ambientes donde se requiere el calor.

La desventaja y problemas por resolver están referidos principalmente a una mayor eficiencia en el calor de los gases circulantes que se disipan por los ductos y la continuidad de generación de calor de la briqueta, sin aprovecharlo parte del día (estaciones de verano)

#### ■ **PISCIGRANJAS**

Calentamiento de pozas de agua, que sirven como criaderos de peces.

Con dispositivos que concentran tres a cuatro unidades de combustión de briquetas, se conduce el calor emitido a través de serpentines en la



superficie inferior de cada poza de agua.

## ■ **INDUSTRIA DEL TABACO**

Secado de las hojas del tabaco para la producción de cigarrillos.

Las hojas de tabaco, acondicionadas en ligeros fardos, se distribuyen en la parte superior, suspendidos del techo de un ambiente cerrado, en hileras convenientemente separadas y a una altura aproximada de 1,70m. respecto al piso del ambiente.

En el piso, se distribuyen las unidades básicas de combustión con briquetas que irradian el calor producido, libremente, sin ductos, ni chimeneas.

La cantidad de briquetas a usar dependerá del área del ambiente utilizado, temperatura del medio, cantidad de hojas a secar, etc.

## ■ **AGRO-INDUSTRIA**

Secado de tubérculos, papas, ajíes, etc. y calefacción de viveres.

El secado de la papa, es una práctica cotidiana de realizar con la temperatura ambiente, restando posibilidades de comercialización oportuna por el tiempo que demora esta modalidad de secado natural.

Sin embargo, utilizando el calor de las briquetas de carbón dentro de una cámara cerrada, en la parte inferior de ésta, se puede distribuir los gases calientes por ducto que internamente se ramifican en la cámara superior, la misma que se acondiciona para ubicar bandejas de hojalata

donde se deposita la papa cortada o entera, las bandejas con el material a secar (no sólo papas, también ajíes o cualquier otro tubérculo) reciben el calor de radiación producido por los gases calientes alcanzando la cámara de calentamiento temperaturas promedio de 30 a 40°C en el ambiente interior.

El manípulo de las briquetas se realiza por el compartimiento inferior de la cámara, pudiendo quemarse las briquetas en unidades básicas de combustión o en sistemas de 3 a 4 unidades como una batería de quemadores de briquetas.

## ■ **INDUSTRIA QUIMICA**

Calentamiento y evaporación de soluciones.

Para soluciones depositadas en pozas, tipo tinas de un promedio de  $L = 2$  m,  $A = 1,5$  m y  $H = 10$  m, se pueden disponer baterías de briquetas movibles por la parte inferior de la poza, acondicionando garuchas en cada batería (3 ó 4 unidades básicas de combustión juntos) par introducirla y retirarla cada vez que sea necesario el reemplazo de briquetas o para el mantenimiento necesario.

En todos los casos mencionados, se requiere diseñar el sistema de transmisión de calor desde un dispositivo elemental de combustión o desde una batería de unidades de combustión, hasta el producto que necesita recibir el calor de manera directa o indirecta, y según la magnitud de la aplicación y la cantidad de calor requerido.

## **APENDICE N°6 - A**

**CARBOTEC S.A**

**EXPERIENCIA PERUANA EN LA  
FABRICACION DE BRIQUETAS DE  
CARBON**



**CARBOTECH S.A.**

Empresa Procesadora de Carbón

Puente Piedra, 29 de abril de 1,997

Sr.

Presente:

Tenemos el agrado de dirigirnos a ud., para poner a su disposición los servicios de nuestra empresa CARBOTECH S.A.. Esta empresa ha unido esfuerzos de técnicos peruanos para desarrollar un nuevo sistema de calefacción para granjas de cerdos y aves a base de la utilización de briquetas de carbón mineral, que permite reducir los costos de calefacción en más del 50% en relación al empleo del gas y el kerosene.

Tal es así, por ejemplo: que para brindar calefacción a 10,000 pollos con 10 quemadores de gas se consume un balón de 100 lbs/día a un costo de S/.95.00. Para este mismo propósito, con el sistema que ofertamos, se consumen tan sólo 60 briquetas de carbón mineral por día, con 10 quemadores a un precio unitario de S/.0.65 se gastaría S/.39.00. Es decir, se obtiene un ahorro del 59%.

Las briquetas de carbón mineral no generan incendios, porque no explotan, ni se inflaman como los combustibles tradicionales, tales como el gas propano o el kerosene. Usando las briquetas de carbón mineral tendrá Ud. y sus galponeros mayor tranquilidad, porque difícilmente tendrá incendios en sus galpones.

Como referencia podemos mencionarles algunas granjas que vienen empleando con éxito esta tecnología, ellas son:

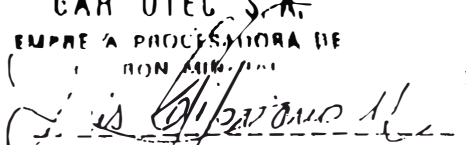
- Agroind. Sta. Rosa, del Sr. Alfonso Yong, Aucallama - Huaral.
- Agropecuaria Bujiro Yonezawa - Huaral.
- Alm. Agropecuarios S.A., del Sr. Miguel Izaga - Pachacamac.
- Agrovinsa, del Sr. Ulises Villanueva - Huaral.
- Granja Santa Catalina, del Sr. Félix Izaguirre - Chancay.
- ISAMISA, del Sr. Félix Alejos - Huachipa.
- Granja Malena, del Sr. Helmut Ludeke M. - Cieneguilla.
- Avícola Lila S.A., de Mónica Antayhua - Huertos de Manchay.
- Etc.

CARBOTECH S.A., cuenta con maquinarias especializadas y con la capacidad de producción necesarias para asegurar el abastecimiento permanente de este producto en el mercado nacional.

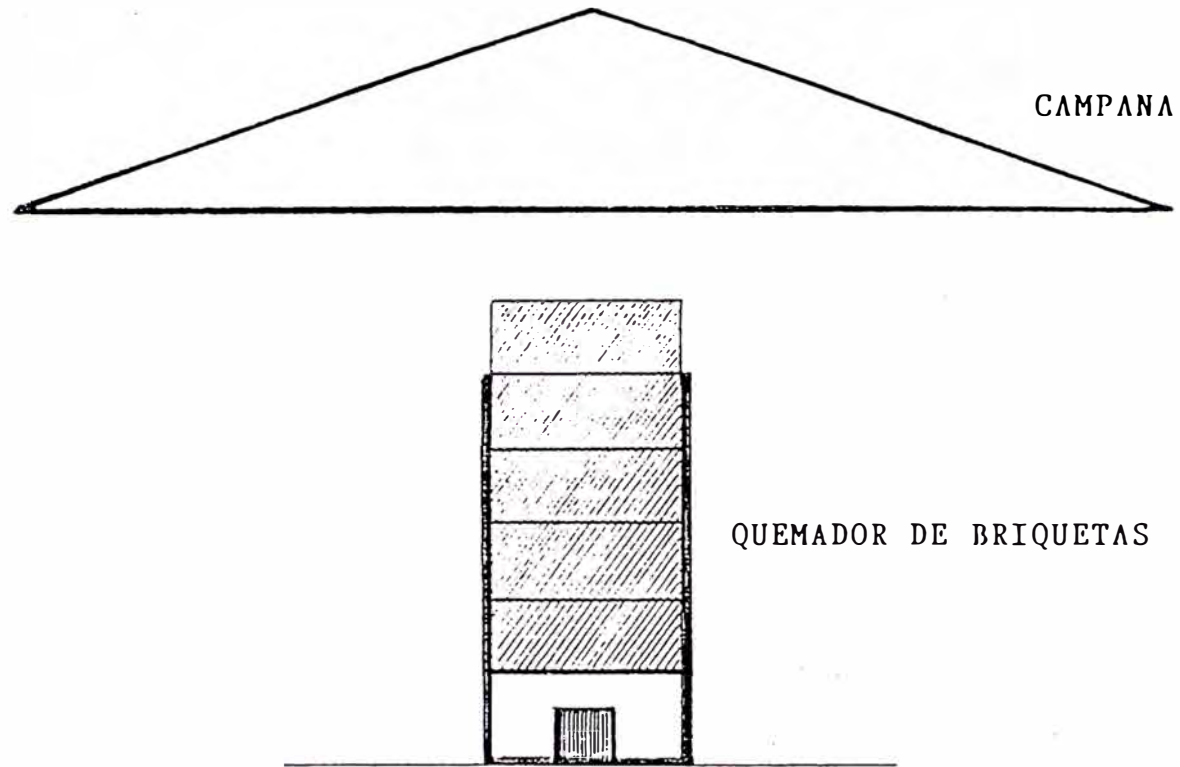
De interesarle nuestro producto, puede comunicarse con nosotros a los teléfonos: 551-2003 y 965-4842 o en su defecto, estaríamos muy gustoso de recibirlo en el local de nuestra empresa situ en Mz.A Lt. 7, Urb: Shangri-Lá, distrito de Puente Piedra - Lima.

Sin otro particular, quedamos de ustedes

Atentamente,

CARBOTECH S.A.  
EMPRESA PROCESADORA DE  
CARBÓN MINERAL  
  
JOSE CIPRIANO M.  
GERENTE DE VENTAS

EQUIPOS DE CALEFACCION



CUADRO COMPARATIVO DEL SISTEMA DE CALEFACCION

<u>No. Pollos</u>	<u>Combustible</u>	<u>Campanas</u>	<u>Cantidad/Día</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Costo Diario</u>
10,000	GAS PROPANO	10	01 Balón 100 Lb.	S/.95.00	S/.95.00
10,000	BRIQUETA CARBON MINERAL	10	60 Briquetas	S/ 0.65	S/.39.00

EL AHORRO DIARIO POR QUEMAR BRIQUETAS ES DEL 59%



**CARBOTECH S.A.**  
Empresa Procesadora de Carbón

Puente Piedra, 06 de mayo de 1,997

Sres.

Presente:

Le hacemos llegar la siguiente cotización para Quemadores de Briquetas de Carbón, con o sin campana:

- Quemador sin campana S/. 88.50
- Quemador con campana de 80 cm. de diám. 130.00  
Este equipo se utiliza para la crianza de cerdos en la maternidad.
- Campana de 1.40 mt. de diám. S/. 112.10
- Quemador con campana de 1.40 mt. de diám. 200.00  
Este equipo se utiliza para la crianza de pollos, pavos y patos bebés.

Las condiciones para el pago son del 70% a la orden de compra y el 30% a la recepción de los equipos.

La briqueta de carbón mineral es un combustible sólido de forma cilíndrica de 1.90 Kg. El precio por millar en la planta de CARBOTECH S.A. es de S/. 600.00. El precio en la granja es de S/.650.00. Las condiciones de pago son a contraentrega con cheque a 10 días.

Todos los precios incluyen el I.G.V.

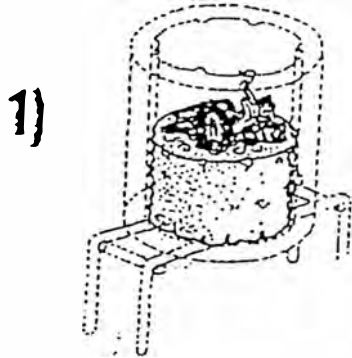
Nota:

Se pueden utilizar las campanas tradicionales que se usaban con el quemador a kerosene; sólo tendría que comprar el quemador a briquetas de carbón mineral.

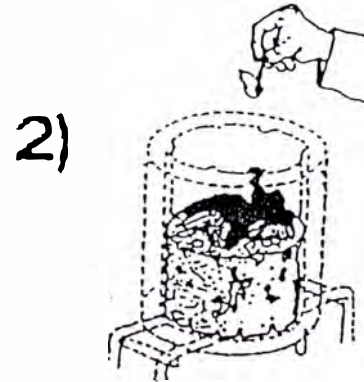
Atentamente,

  
JOSE CIPRIANO MALLQUI  
GERENTE DE VENTAS

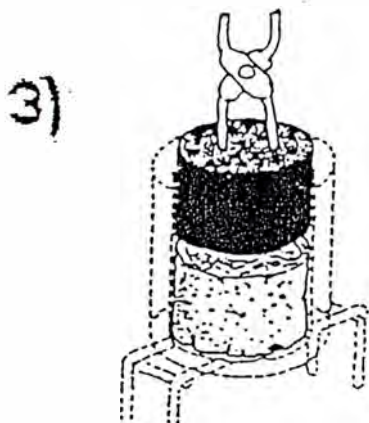
# ¿Como encender una Briqueta de Carbón?



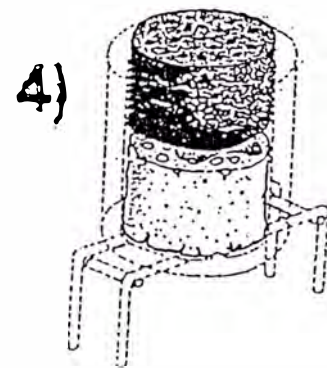
Sobre el soporte, colocar un pedazo de trapo o papel en forma de bollo, humedecido con kerosene.



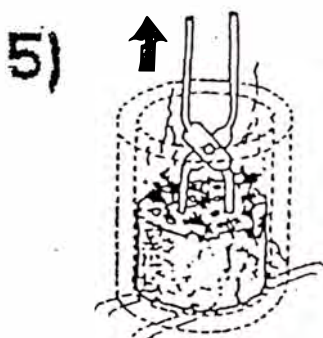
Colocar, de 250 a 300 gramos de carbón vegetal en trozos chicos, sobre el trapo o papel, sacando una punta a modo de mecha y encender.



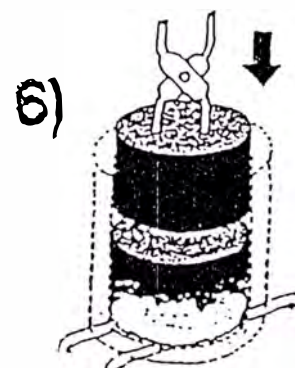
Formada la brasa, colocar la briqueta que va encender.



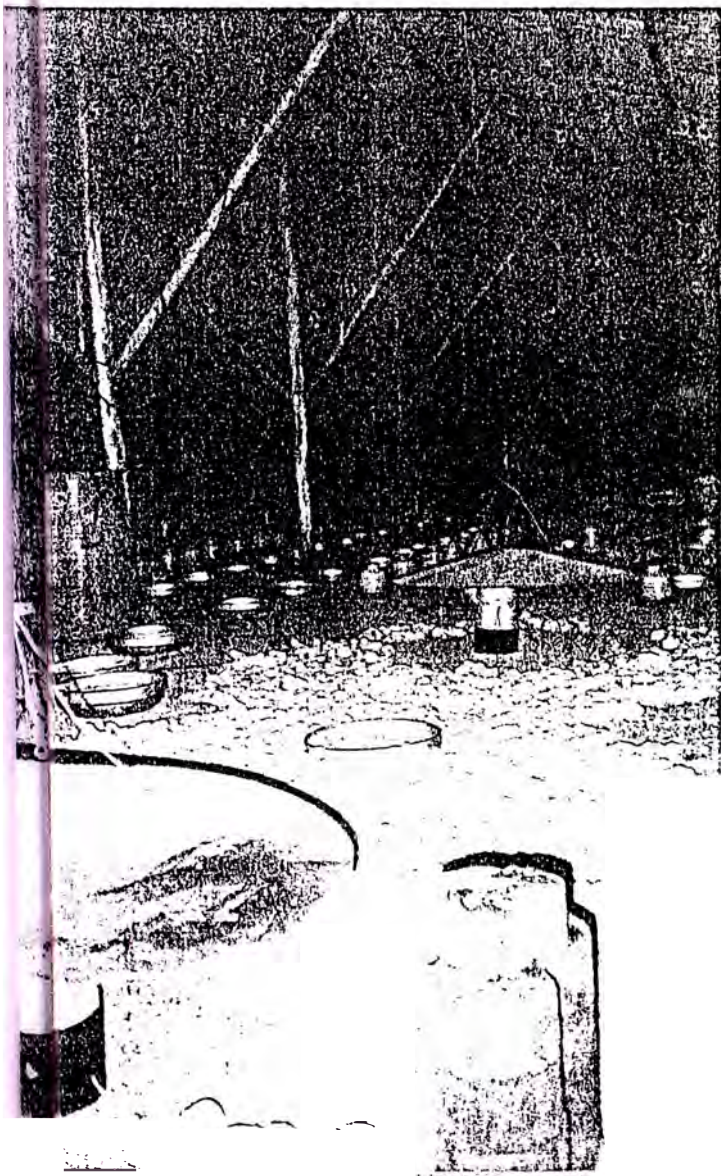
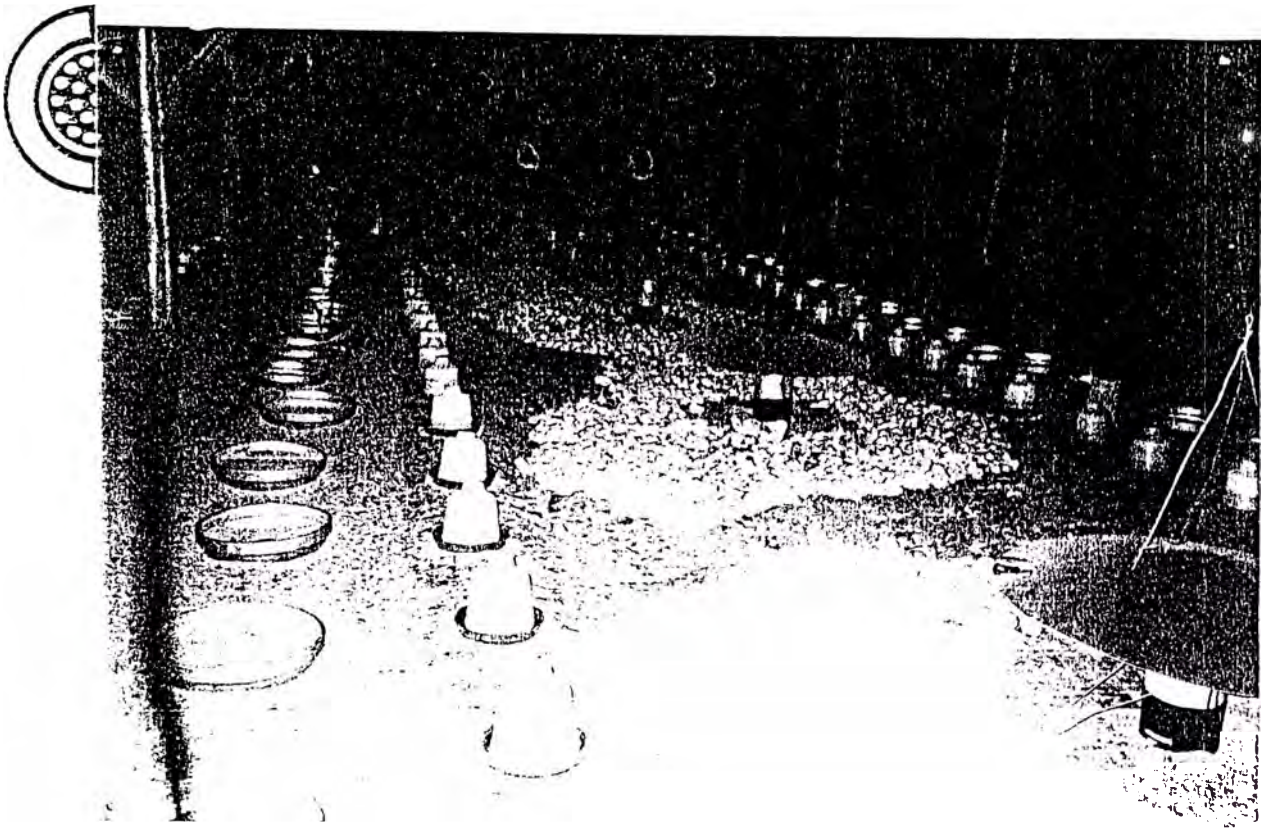
Esperar de 25 a 30 minutos, hasta notar la formación de anillos rojos. A medida que transcurre el tiempo, se hacen más intensos en todos los huecos de la briqueta.



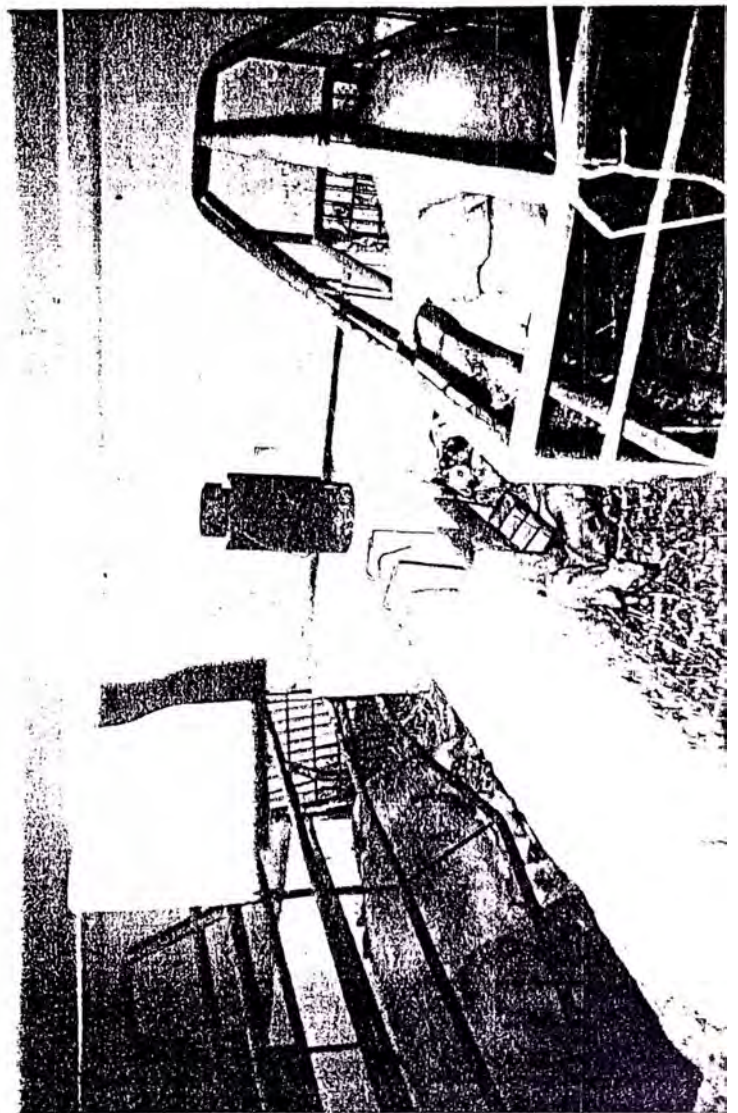
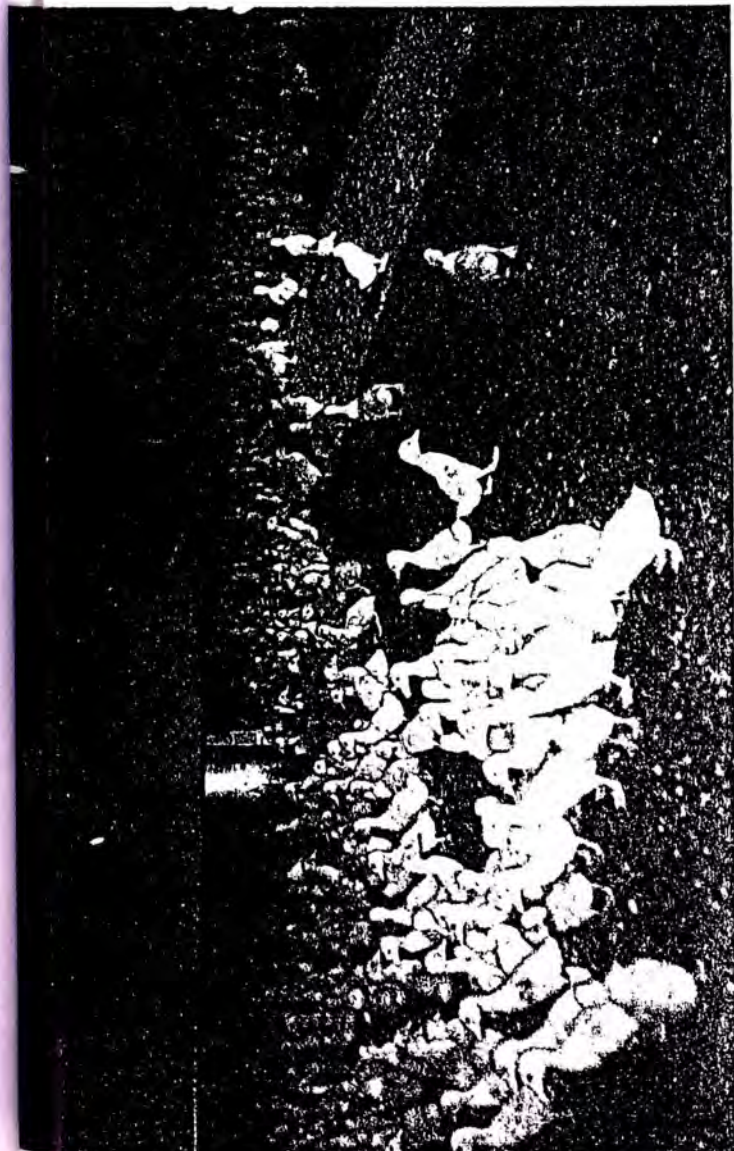
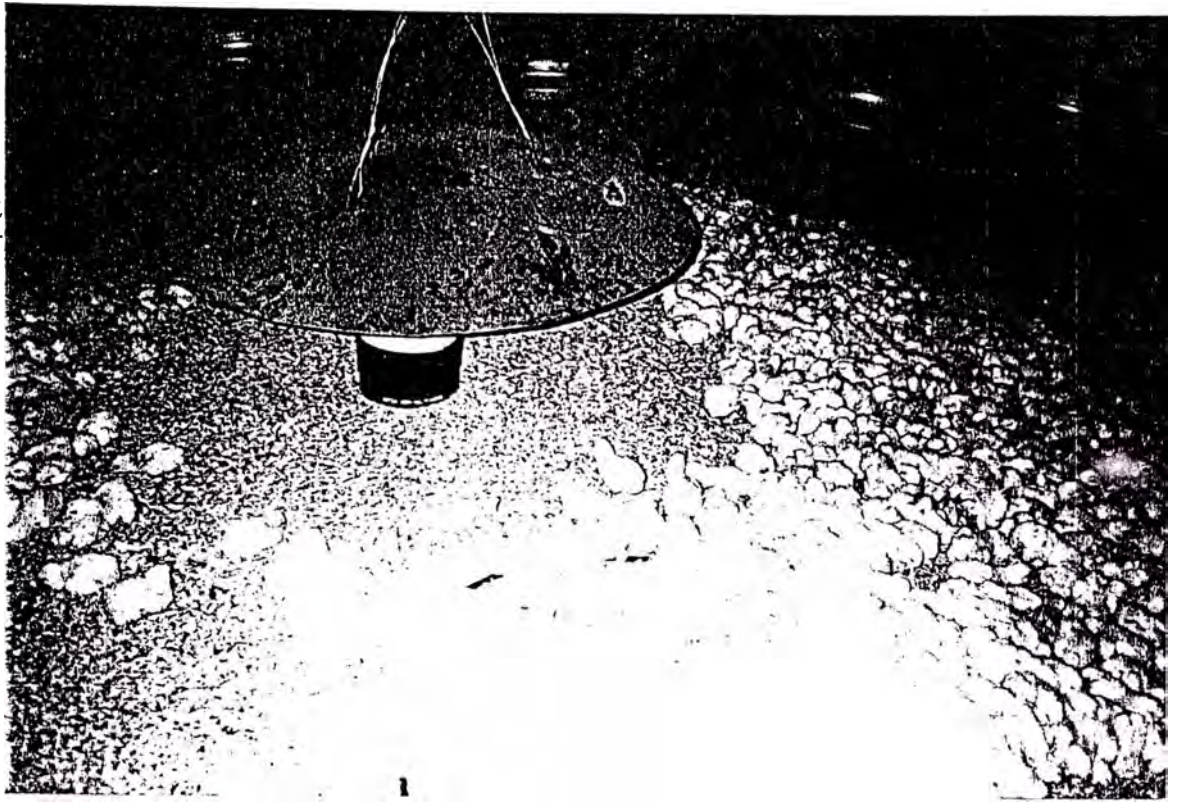
Retirar un momento la briqueta y sacar al exterior todos los materiales usados en el encendido.



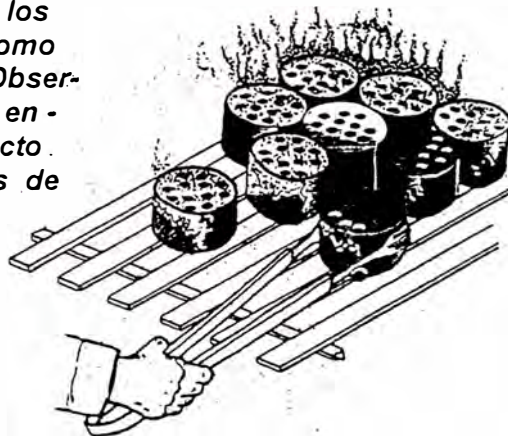
Colocar, otra vez, la briqueta encendida al interior del tubo refractario. Sobre ésta, poner briquetas nuevas, haciendo coincidir los huecos entre sí.







Desarmar la torre, colocando las rozetas juntas y con los huecos hacia arriba, tal como se muestra en el dibujo. Observar que las partes aún no encendidas estén en contacto con las partes encendidas de las otras rozetas.



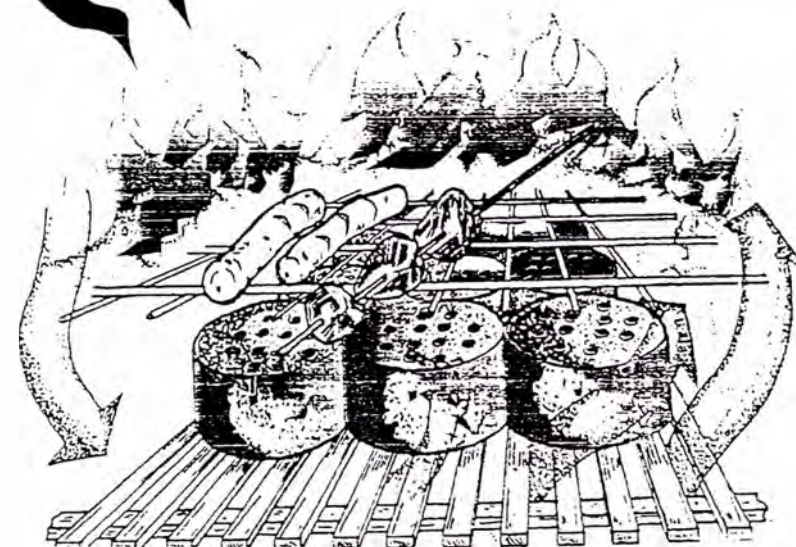
**NOTA:**

Si va a emplear rozetas en chimeneas o brazeros, no desarmar la torre.

**RECOMENDACIONES**

- A. Las rozetas deben colocarse sobre una parrilla con barrotes no muy separados, que permitan su acomodo y el ingreso de aire por debajo.
- B. Se debe manipular las rozetas con una tenaza de mango largo, evitando su rotura.
- C. No echar agua sobre las rozetas.
- D. Si la rozeta iniciadora no prende por deterioro de su envase, puede sumergirla totalmente durante 1 minuto en un depósito con kerosene y luego encenderla. Este mismo procedimiento se puede realizar empleando cualquier rozeta parrillera.
- E. Otra forma de encender las rozetas cuando no se dispone de rozeta iniciadora, es colocando una de ellas de 5 a 10 minutos sobre la hornilla de una cocina (eléctrica, gas ó kerosene). Cuando todos los huecos de la rozeta estén prendidos, podrá proceder a armar la torre para su encendido como si fuera una rozeta iniciadora.

Diseño Gráfico: Luis López Figueroa (11/01) Mayo 1996



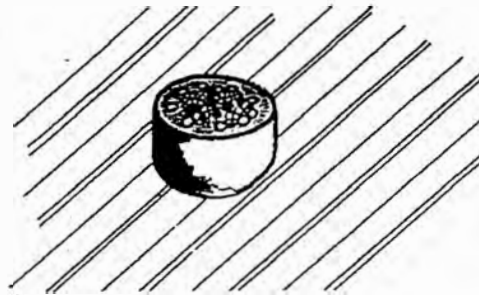
Calle Los Eucaliptos Mz. A Lote 7  
Urb. Shangri-la - Puente Piedra  
Telf. 551-2003

**ARBOTEC S.A.**  
Empresa Procesadora de Carbón

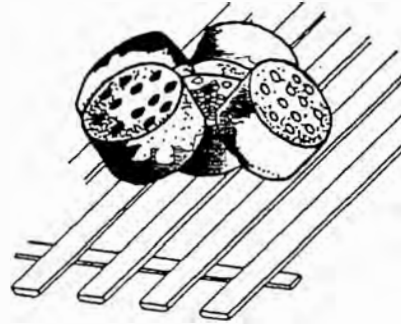




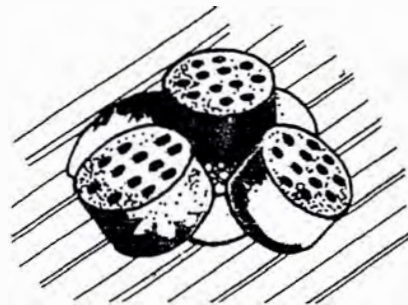
Retire de su envase la rozeta iniciadora y colóquela en el centro de la parrilla con el dispositivo de encendido hacia arriba.



Alrededor de la rozeta iniciadora coloque 4 rozetas parrilleras, apoyadas en su borde, como se muestra en el dibujo.



Coloque encima otra rozeta con los huecos hacia arriba, dejando una separación no mayor de un dedo.

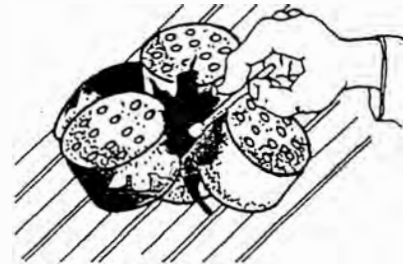


**NOTA:**

En caso de emplear 10 ó menos rozetas, puede armar la torre con una base de 3 rozetas en vez de 4.

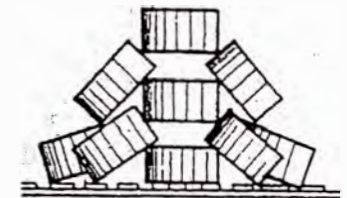
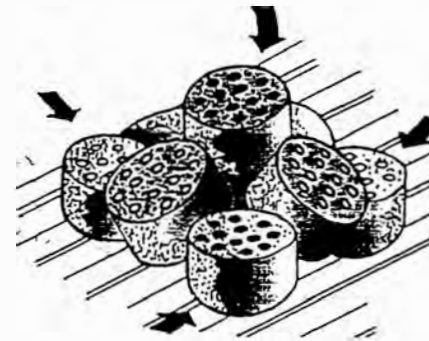


Prenda con un fósforo el dispositivo de encendido de la rozeta iniciadora y durante 20 minutos, evite soplar.

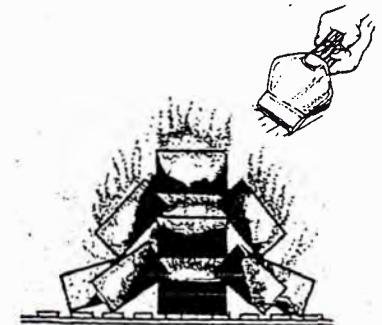


Si va a emplear más de 10 rozetas, coloque 4 rozetas adicionales en la base de la torre y arme un segundo y un tercer nivel, como se muestra en el dibujo de abajo.

En caso de emplear menos de 10 rozetas, coloque 3 adicionales en la base y arme sólo 2 niveles.



No tocar la torre hasta que el encendido se contagie a todas las rozetas (aproximadamente 45 minutos). Puede apurar este encendido con un soplador.



## SISTEMAS PARA USO INDUSTRIAL

La briqueta de carbón mineral puede ser empleada para los siguientes procesos industriales:

- Secado directo: (En contacto con los gases de la combustión) tales como: madera, cuero, cartón, productos peletizados, etc.
- Secado limpio: (Sin contacto con los gases de la combustión) tales como: alimentos, lacas y telas.
- Calentamiento de líquidos: Agua caliente, parafina, productos químicos, aceite térmico y lácteos.
- Cocinado y tostado de productos alimenticios.
- Quemado de productos calcáreos y tostado de minerales.
- Vapor de baja presión: Pequeños calderos.
- Horneado: Pintura, panadería y otros.

### A. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

Es ideal para pequeñas y medianas empresas que hacen uso intensivo de petróleo, gas o electricidad, pudiendo en muchos casos adaptar sus equipos existentes a la briqueta de carbón, sin realizar mayores inversiones.

### B. CARACTERISTICAS DE LA BRIQUETA:

Para la industria se emplean dos tamaños de briquetas con un poder calórico de 4.700 KiloCal/Kilo:

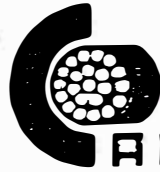
Briqueta Chica: De 10 cm de diámetro x 6 cm de alto, con un peso de 350 gr.

Briqueta Grande: De 15 cm de diámetro por 7.5 cm de alto, con un peso de 1.8 Kg.



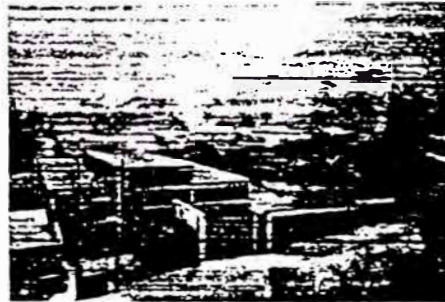
¡Olvidese del alza de los hidrocarburos!

## Informes y ventas

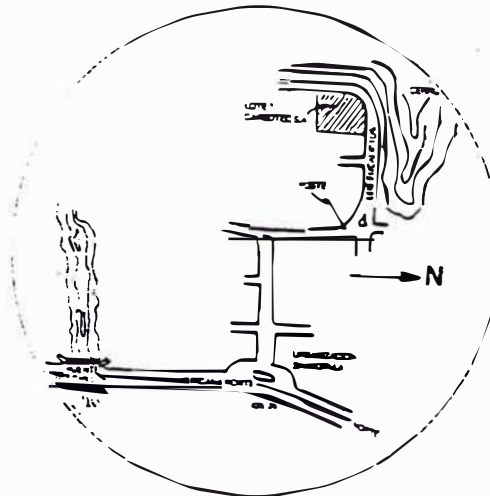


**CARBOTEC S.A.**  
Empresa procesadora de  
carbón

Asesoría Técnica, producción  
y venta de briquetas

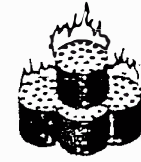


¡Abastecimiento asegurado!

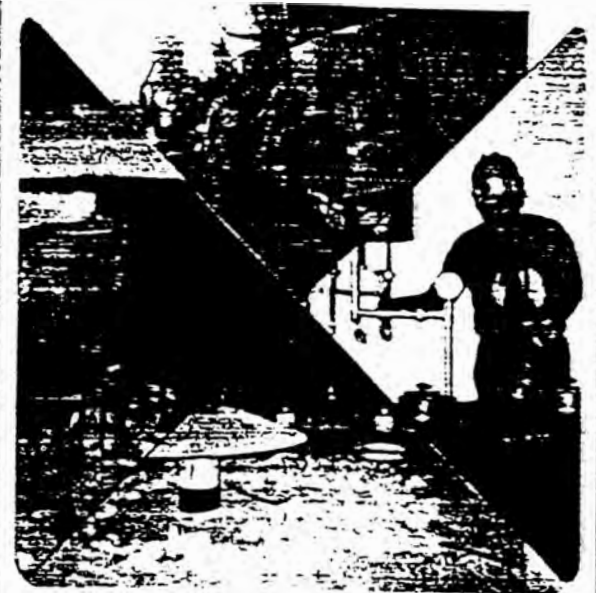


Urb. Shangri-la, calle Los Eucaliptos MZA, lote 7,  
Distrito Puenic Piedra- Lima.

TF: 551-2003, 965-4842



# BRIQUETAS DE CARBON MINERAL PARA GRANJAS E INDUSTRIAS



¡Aumente sus ganancias  
y gane  
en eficiencia y seguridad!

## PRESENTACION

**L**a empresa CARBOTEC S.A. ha desarrollado innovativos sistemas de calefacción, secado, quemado de sólidos y calentamiento de líquidos, que emplean briquetas de carbón mineral como fuente de energía, constituyéndose en la alternativa más económica, simple y segura del mercado nacional.

- Estos sistemas garantizan a los usuarios ahorros por encima del 50% en comparación a cualquiera de los otros combustibles convencionales. Pudiendo llegar en algunos casos hasta el 65% de ahorro.
- La briqueeta de carbón mineral es un combustible no inflamable, que no chispea ni proyecta partículas sólidas al medio ambiente. Su uso evita los riesgos de explosión e incendio.
- Los equipos a briquetas son simples en su fabricación y no requieren de repuestos ni costosos gastos de mantenimiento.
- Esta tecnología, además, permite el uso múltiple de la energía. Por ejemplo, en una industria, con un sólo quemador de briquetas se puede al mismo tiempo, cocinar o quemar sólidos, hervir líquidos y calentar un ambiente, lográndose así el máximo aprovechamiento de la energía disponible.

## SISTEMA DE CALEFACCION PARA AVES Y ANIMALES MENORES

El equipo básico del sistema consta de un quemador de forma cilíndrica de diseño especial, de una campana metálica y de una tanaza de fierro para la manipulación de las briquetas.

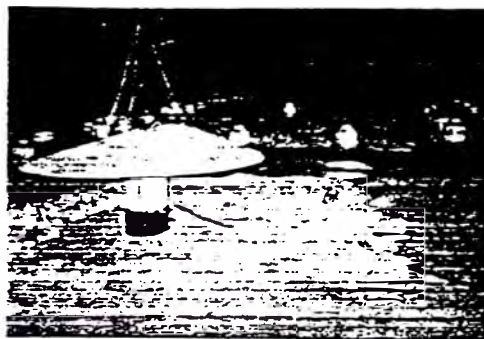
### A. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

- El quemador contiene un tubo refractario de alta temperatura forrado con plancha metálica, con capacidad para 5 briquetas de carbón. La campana tiene un diámetro de 1.4 mts.
- Cada equipo posee una capacidad para brindar calefacción a 1,000 animales (pollos bb) durante las 24 horas del día, con un consumo máximo de 6 briquetas/día. Los cambios de briquetas se realizan cada 12 horas.

### B. CARACTERISTICAS DE LA BRIQUETA:

- Forma: Cilíndrica con 22 perforaciones.
- Peso: 1.8 Kgs.
- Tamaño: 15 cm de diámetro por 7 de alto.
- Poder Calórico: 8,600 Kilocalorías/unidad.
- Duración prom: 4 horas c/u.

Este sistema está siendo utilizado con éxito en la crianza de pollos, pavos, patos, codornices, cuyes y conejos.



*¡ Obtenga mayor conversión alimentaria !*

## SISTEMA DE CALEFACCION PARA CERDOS



*¡Mínimo mantenimiento y mayor peso !*

### A. VENTAJAS:

- Por efecto de la temperatura homogénea que brinda la briqueeta, se logran mayores rendimientos y menor incidencia de la diarrea en los animales.
- Proporciona mayor seguridad en la crianza.
- Minimiza los gastos de mantenimiento de equipos.

### B. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO Y DE LAS BRIQUETAS:

- Para la crianza de cerdos, se emplea el mismo equipo y briquetas, que los que se utilizan para la crianza de aves, pero sin campana, buscando generar una temperatura ambiente. En la maternidad es posible lograr temperaturas diferenciadas para la madre y para sus crías, colocando sobre los quemadores pequeñas campanas metálicas de 80 cm de diámetro, con el propósito de focalizar la temperatura en las crías.

### C. RENDIMIENTO:

- Cada equipo tiene una capacidad para brindar calefacción durante las 24 horas del día, con un consumo máximo de 6 briquetas/día.
- En la maternidad se emplea un quemador por cada dos madres con sus respectivas camadas.

## APENDICE N°7

### CALCULOS PRELIMINARES PARA COMBUSTIONAR CARBON

Composición Química del Carbón (Proveedor: Cia. Lar Carbón S.A. Lima).

#### Análisis Próximo

Mv%	C F%	Cenizas%	Humedad%	Kcal/Kg
30.0	45 - 60	12,6	1 - 1,5	6700 -7040

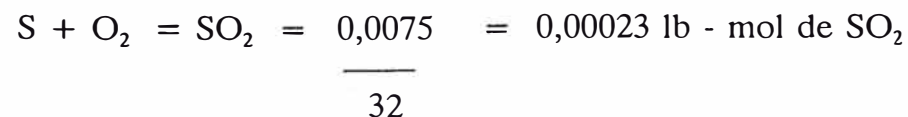
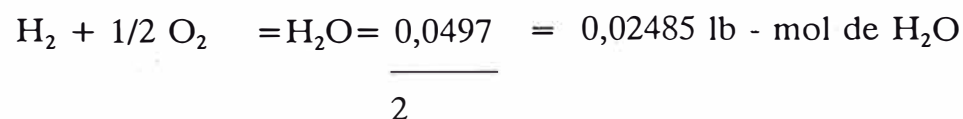
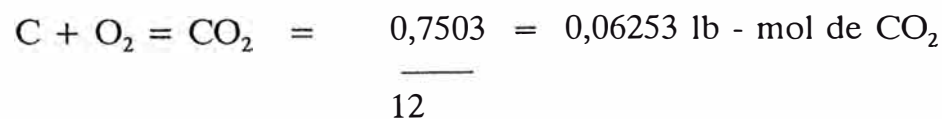
#### Análisis Ultimo

H <sub>2</sub> %	C%	(N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> )%	S <sub>2</sub> %	Ceniza%
4,97	75,03	6,65	0,75	12,6

#### Balance de Combustión

base = 1 lb de carbón.

#### Reacciones:



$$O_2 \text{ necesario} = 0,062 + 0,024 + 0,0002 = 0,08761 \text{ lb - mol}$$

$$O_2 \text{ en el carbón} = 0,001663$$

$$O_2 \text{ requerido} = 0,08761 - 0,00166 = 0,08595 \text{ lb - mol}$$

## APENDICE N°7

### CALCULOS PRELIMINARES PARA COMBUSTIONAR CARBON

Composición Química del Carbón (Proveedor: Cia. Lar Carbón S.A. Lima).

#### Análisis Próximo

Mv%	C F%	Cenizas%	Humedad%	Kcal/Kg
30.0	45 - 60	12,6	1 - 1,5	6700 -7040

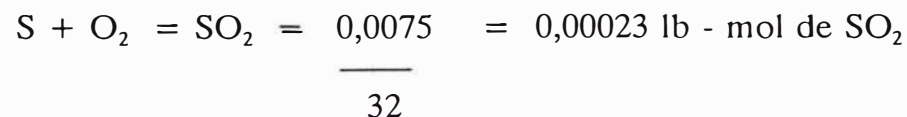
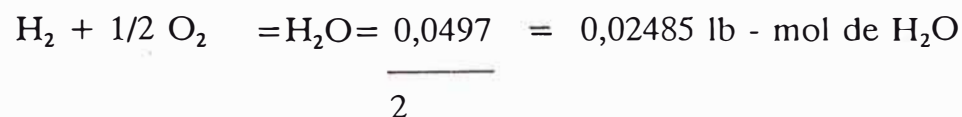
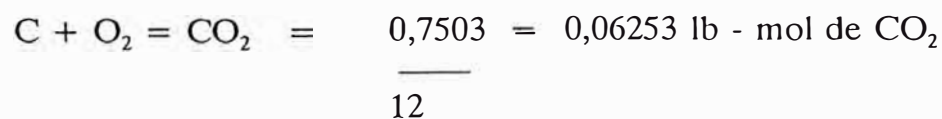
#### Análisis Ultimo

H <sub>2</sub> %	C%	(N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> )%	S <sub>2</sub> %	Ceniza%
4,97	75,03	6,65	0,75	12,6

#### Balance de Combustión

base = 1 lb de carbón.

#### Reacciones:



$$O_2 \text{ necesario} = 0,062 + 0,024 + 0,0002 = 0,08761 \text{ lb - mol}$$

$$O_2 \text{ en el carbón} = 0,001663$$

$$O_2 \text{ requerido} = 0,08761 - 0,00166 = 0,08595 \text{ lb - mol}$$

Aire necesario = 0,4093 lb - mol

N<sub>2</sub> en el aire = 0,3234 lb - mol

### CALORES DE REACCION DEL CARBON

$$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 = H_R (298^\circ\text{K}) = 94050 \text{ Cal} \times 0,06253 \text{ mol} = 5880,9 \text{ Cal}$$

mol

$$\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} = H_R (298^\circ\text{K}) = 57800 \times 0,02485 = 1436,3 \text{ Cal}$$

$$\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2 = H_R = 70950 \times 0,00023 = 16,3 \text{ Cal}$$

$$H_R.(298^\circ\text{K}) = 7\,333,5 \text{ Cal}$$

### EN CONDICIONES ADIABATICAS:

Calor de reacción = CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION.

### Datos del Petróleo N° 6 (R - 6):

-	Consumo del petróleo Horno Rev. N° 2	
	Período	: Abril - Setiembre 1991
	Ton. de petróleo	: 10 908
	Tiempo de operación	: 180 días
	Ton. petróleo /día	: 60,6 ton/día = 5555 lb/hr.
-	Calor de reacción del R - 6	: 9792,3 Cal

### - Composición de atmósfera del horno - Análisis Orsat

CO <sub>2</sub> %	CO %	O <sub>2</sub> %	SO <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %
12,39	-	1,39	2,08	84,14



- **Calor sensible en gases a 1150°C (temp.crít.)=3,338x10<sup>7</sup>Cal/hr.**
- **Calor de reacción = 9 792,3 Cal.**
- **T° de llama a diabática del R - 6 = 2112°K = 1839°C.**
- **Composición Química del petróleo R - 6**

% C	% H <sub>2</sub>	% S <sub>2</sub>	Kcal/Kg	(O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> + Cenizas)%
86,3	10,2	1,0	10 400	1,0

### Temperatura de llama adiabática para el carbón

- En condiciones teóricas:

AIRE NECESARIO = 0,4093 lb - mol

CO<sub>2</sub> = 0,06253

H<sub>2</sub>O = 0,02485

SO<sub>2</sub> = 0,00023

N<sub>2</sub> = 0,3234 + ( 0,0665 \* 0,2 ) / 28 = 0,3239

- Con exceso de aire:

Aire % <u>Exceso</u>	<u>Aire Total</u> Moles	<u>Composición Molar de Gases</u>						
		O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
0	.4093	.086	.3233	.0625	.0249	.0002	.3239	-
10	.4502	.0945	.3537	.0625	.0249	.0002	.3562	.0085
15	.4707	.0988	.3719	.0625	.0249	.0002	.3724	.0128
20	.4912	.1032	.388	.0625	.0249	.0002	.3885	.0172
30	.5321	.1117	.4204	.0625	.0249	.0002	.4208	.0257
40	.573	.1203	.4527	.0625	.0249	.0002	.4531	.0343

- Calor sensible de productos de combustión sin exceso de aire:

$$\text{CO}_2 = 0.06253 (10.55T + 1.08 \times 10^{-3}T^2 + 2.04 \times 10^{-5}T^{-1} - 3926) =$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.02485 (7.17T + 1.28 \times 10^{-3}T^2 - 0.08 \times 10^{-5}T^{-1} - 2225) =$$

$$\text{SO}_2 = 0.00023 (10.37T + 1.27 \times 10^{-3}T^2 + 1.42 \times 10^{-5}T^{-1} - 3683) =$$

$$\text{N}_2 = 0.3239 (6.66T + 0.51 \times 10^{-3}T^2 - 0 - 2031) =$$

$$2.997T + 2.648 \times 10^{-4}T^2 + 1.259 \times 10^{-6}T^{-1} - 959.5$$

Por lo tanto la temperatura adiabática para combustión sin exceso de aire es:

$$2.997T + 2.648 \times 10^{-4}T^2 + 1.259 \times 10^{-6}T^{-1} - 8293 = 0$$

$$T = 2300 \text{ } ^\circ\text{K} = 2027 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Con exceso de aire:

### CALOR SENSIBLE

%

Aire

Exceso

0	$2.997T + 2.648 \times 10^{-4}T^2 + 1.259 \times 10^{-6}T^{-1} - 959.5$
10	$3.273T + 2.855 \times 10^{-4}T^2 + 1.293 \times 10^{-6}T^{-1} - 1025.1$
15	$3.412T + 2.96 \times 10^{-4}T^2 + 1.31 \times 10^{-6}T^{-1} - 1087.6$
20	$3.551T + 3.06 \times 10^{-4}T^2 + 1.328 \times 10^{-6}T^{-1} - 1130.5$
30	$3.827T + 3.27 \times 10^{-4}T^2 + 1.362 \times 10^{-6}T^{-1} - 1215.7$
40	$4.103T + 3.464 \times 10^{-4}T^2 + 1.396 \times 10^{-6}T^{-1} - 1301.2$

%

Aire

Exceso

CALOR DE

REACCION

TEMP. ADIABATICA

°K

°C

0	7 333.5	2300	2027
10	7 333.5	2150	1877
15	7 333.5	2089	1816
20	7 333.5	2029	1756
30	7 333.5	1919	1646
40	7 333.5	1824	1551

**CONCLUSION :** El carbón proveniente de LARCARBON debe ser quemado con 13% de exceso de aire para obtener la misma temperatura adiabática del petróleo residual N° 6.

2.2 Calor sensible de los gases de combustión a temperatura crítica:

Aire teórico Necesario = 0.4093 lb. mol

Aire total = 0.4093\*1.13 = 0.4625 lb. mol

CO<sub>2</sub> = 0.06253 lb.mol

H<sub>2</sub>O = 0.02485 lb.mol

SO<sub>2</sub> = 0.00023 lb.mol

N<sub>2</sub> = 0.3659 lb.mol

O<sub>2</sub> = 0.0128 lb.mol

CO<sub>2</sub> = 0.06253 (10.55T + 1.08\*10<sup>-3</sup>T<sup>2</sup>+2.04x10<sup>-5</sup>T<sup>-1</sup>- 3926) =

H<sub>2</sub>O = 0.02485 (7.17T+ 1.28\*10<sup>-3</sup>T<sup>2</sup> - 0.08x10<sup>-5</sup>T<sup>-1</sup>- 2225) =

SO<sub>2</sub> = 0.00023 (10.38T+1.27x10<sup>-3</sup>T<sup>2</sup> + 1.42x10<sup>-5</sup>T<sup>-1</sup>- 3683) =

N<sub>2</sub> = 0.3659 (6.66T+0.51x10<sup>-3</sup>T<sup>2</sup> - 0 - 2031) =

O<sub>2</sub> = 0.0138 (7.16T+0.5x10<sup>-3</sup>T<sup>2</sup> - 0.4x10<sup>-6</sup>T<sup>-1</sup> - 2313) =

3.369T + 2.97 x 10<sup>-4</sup>T<sup>2</sup> + 1.31 x 10<sup>-6</sup>T<sup>-1</sup> - 1074.4

$$T = 1423 \text{ }^\circ\text{K.}$$

$$\text{CALOR SENSIBLE: } 4\,436.3 \text{ Cal/lb.}$$

**CALOR DISPONIBLE BRUTO (CDB)**

**1.- DEL PETROLEO**

$$\text{CDB Petr6leo} = \text{CALOR REACCION} - \text{CALOR SENSIBLE}$$

$$= 9\,792.3 \frac{\text{cal}}{\text{lb}} * 5\,555 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} - 3.338 \times 10^7 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$= 2.102 \times 10^7 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

**2.- DEL CARBON**

$$\text{CDB} = 7\,333.5 \text{ cal/lb} - 4\,436.3 \text{ cal/lb}$$

$$= 2\,897.2 \text{ cal/lb}$$

Las necesidades de consumo de carb6n LARCARBON para lograr condiciones de operaci6n obtenidas con petr6leo son:

$$2.102 \times 10^7 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ lb}}{2897.2 \text{ cal}} * \frac{1 \text{ Ton}}{2200 \text{ lb}} = 3.6 \text{ T/hr}$$

$$\text{RATIO DE REEMPLAZO : } \frac{3.300 \text{ Ton/hr}}{2.525 \text{ Ton/hr}} = 1.307$$

$$\text{CON UN FACTOR DE SEGURIDAD (12.5\%)} = \frac{1.470 \text{ Ton Carb6n/hr}}{\text{Ton petr6l/hr}}$$

SUSTITUCION DE PETROLEO POR CARBON ENRIQUECIENDO CON OXIGENO EL AIRE DE COMBUSTION

- Reemplazo del 50% :  
AIRE REQUERIDO =

$$0.4093 \times 1.13 \times 1,85 \times 2200 \times 359 \times \frac{28.958}{19.5} \times \frac{288}{273} \times \frac{1}{60} = 17\,567 \text{ CFM}$$

OXIGENO DISPONIBLE EN PLANTA: 440,6 CFM

NUMERO DE QUEMADORES A UTILIZAR:

- Para quemar petróleo con aire : 3
- Para quemar carbón con aire : 2
- Para quemar carbón con aire enriquecido : 1

MAXIMO ENRIQUECIMIENTO CON OXIGENO : 7.52% (para un quemador).

CONSUMO DE CARBON POR QUEMADOR : 10.21 Kg/min.

(Ver Cuadro N° 1 de este Apéndice).

## COMPOSICION DE GASES PRODUCIDOS

		<b>%SECO:</b>
<b>1.-</b>	<b>AL QUEMAR PETROLEO</b>	
	CO <sub>2</sub> : 0.00723 * 5555 = 401.6 lb - mol/hr	11.95
	H <sub>2</sub> O : 0.051 * 5555 = 283.3 lb - mol/hr	
	SO <sub>2</sub> : 0.00063 * 5555 = 3.5 lb - mol/hr	0.10
	N <sub>2</sub> : 0.5184 * 5555 = 2879.0 lb - mol/hr	85.65
	O <sub>2</sub> : 0.0139 * 5555 = 77.0 lb - mol/hr	2.30

Volumen total de gases: (Base Seca)

$2\ 870.9 * 359 \text{ entre } 0.8414 = 1\ 224\ 926 \text{ CFH (Cond. Std).}$

$= 11\ 813\ 812 \text{ CFH (Cond. Oroya: } T=1\ 773 \text{ °K)}$

(Temperatura de gases en zona de fusión: 1500°C)

Volumen total de gases: (Base Húmeda).

	<b>%Hum:</b>
CO <sub>2</sub> : 11 813 812 * 0.1239 = 1 463 731 CFH	11,44
SO <sub>2</sub> : 11 813 812 * 0.0208 = 245 727 CFH	1,92
N <sub>2</sub> : 11 813 812 * 0.8414 = 9 940 141 CFH	77,72
O <sub>2</sub> : 11 813 812 * 0.0139 = 164 212 CFH	1,28
H <sub>2</sub> O : 282. 4 * 533.1 * 1773= 977 775 CFH	7,64

273

\_\_\_\_\_

12 791 586 CFH

100,00

## 2. AL QUEMAR CARBON CON AIRE ENRIQUECIDO EN OXIGENO

Considerando un nivel de sustitución al 50% del petróleo residual,

tenemos:

Consumo de carbón : 1,85 Ton/hr = 4 070 lb/hr

Gases generados :

	<u>% Hum</u>
$\text{CO}_2 = 0.06253 \cdot 4070 \cdot 3462.38 + 77394 = 954\ 663\ \text{CFH}$	13,88
$\text{H}_2\text{O} = 0.02485 \cdot 4070 \cdot 3462.38 = 348\ 635\ \text{CFH}$	5,06
$\text{SO}_2 = 0.00023 \cdot 4070 \cdot 3462.38 + 233609 = 236\ 836\ \text{CFH}$	3,45
$\text{N}_2 = 0.3659 \cdot 4070 \cdot 3462.38 = 5\ 133\ 417$	74,62
$\text{O}_2 = 0.0128 \cdot 4070 \cdot 3462.38 + 26436 = 206\ 014\ \text{CFH}$	2,99
<u>TOTAL : 6 879 565 CFH</u>	<u>100,00</u>

- Volumen de gases producidos por reacciones con la carga:

$\text{CO}_2$  : Producido por combustión de petróleo.

$$400.4 \cdot 3\ 462.38 = 1\ 386\ 337\ \text{CFH}$$

$$\text{CO}_2 \text{ según análisis gases} = 1\ 463\ 731\ \text{CFH}$$

---

$$\text{CO}_2 \text{ producido por reacciones de carga: } 77\ 394\ \text{CFH}$$

$\text{SO}_2$  : producido por combustión del petróleo.

$$3.5 \cdot 3\ 462.38 = 12\ 118\ \text{CFH}$$

$$\text{SO}_2 \text{ según análisis gases} = 245\ 727\ \text{CFH}$$

---

$$\text{SO}_2 \text{ producido por reacciones de carga: } 233\ 609\ \text{CFH}$$

En el cuadro N° 02, presentamos el análisis de gases en base húmeda obtenidos al sustituir Petróleo por Carbón a diferentes niveles.





## APENDICE N° 8

### CALCULO PRELIMINAR DEL DIAMETRO DE LOS QUEMADORES

1. Sustitución de Petróleo	20%	50%
Flujo de Carbón :	400 Kg/h, quemador	1000 Kg/h, quemador
Relación aire/carbón :		
Sin O <sub>2</sub>	6/1 (1)	6/1 (2)
Con 30% O <sub>2</sub>	3,5/1 (3)	3,5/1 (4)

#### 2. Cálculo de los Volúmenes de Aire Primario:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \text{Sin O}_2 \quad 400 \text{ Kg/h} \quad 6/1 \\
 & \text{-----} \\
 & \text{Aire} \quad : \quad 6 \times 400 \quad = \quad 2\,400 \text{ Kg/aire/h} \\
 & \quad \quad \quad \frac{2400}{1\,288} \quad = \quad 1,864 \text{ m}^3 \text{ N/h}
 \end{aligned}$$

Condición del aire:  $p = 0,65$   
 $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}^*$  (\*suposición)

$$\frac{1.864 \times 288}{273} \times \frac{1}{0,65} = 3.025 \text{ m}^3/\text{h}$$

Concentración del Carbón:  $400 \text{ Kg/h} / 3.025 \text{ m}^3/\text{h} = 0,13 \text{ Kg/m}^3$

$$(2) \quad \text{Sin O}_2 \quad 1000 \text{ Kg/h} \quad 6/1$$



b) Diámetro 8" (= 324 cm<sup>2</sup>)

b.1) Velocidad mínima (para el caso (3))

$$\frac{1765 \text{ m}^3/\text{h}}{3\,600 \times 0,0324} = 15 \text{ m/s}$$

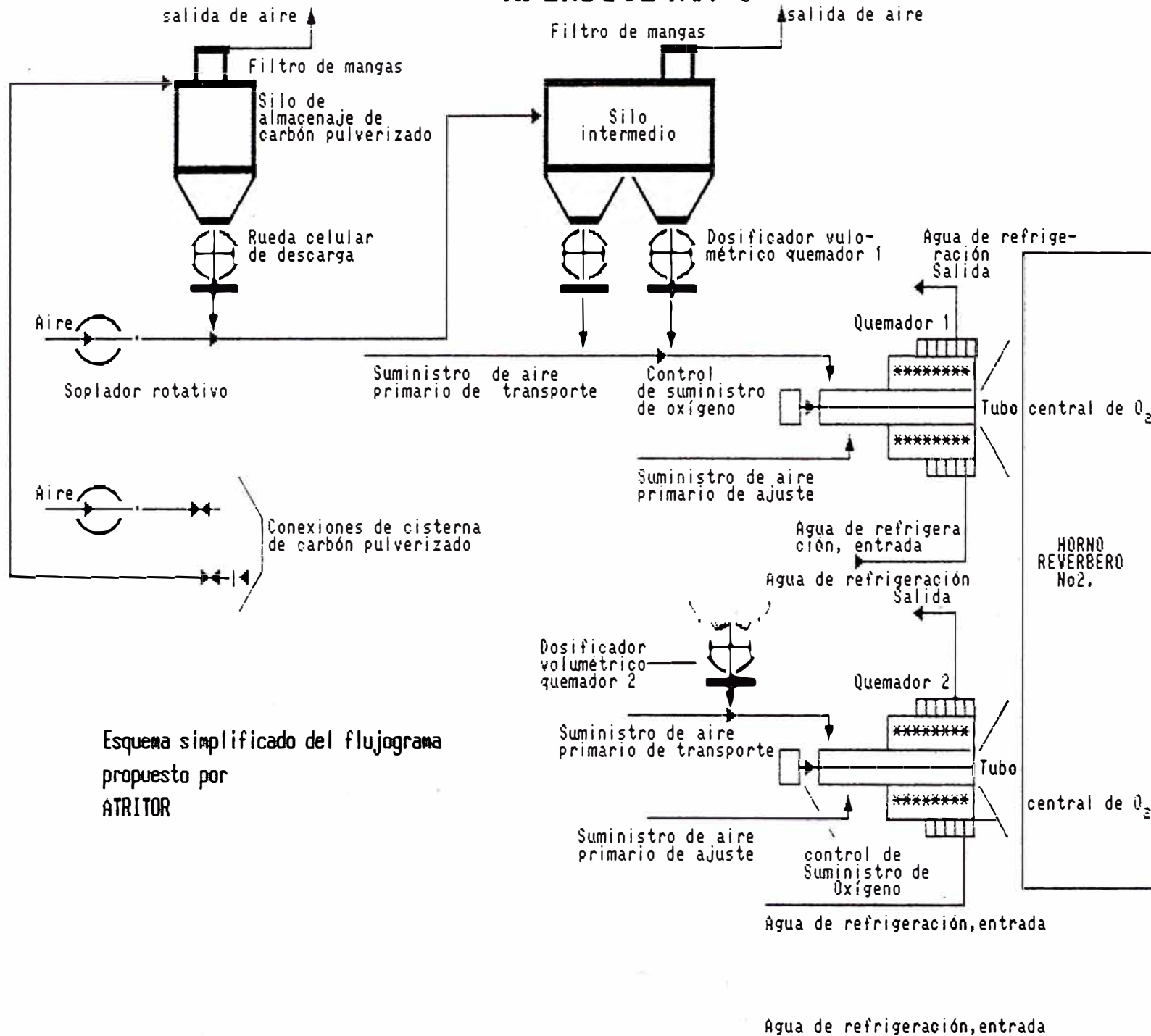
b.2) Velocidad máxima (para el caso (02))

$$\frac{7563 \text{ m}^3/\text{h}}{3\,600 \times 0,0324} = 65 \text{ m/s.}$$

#### **CONCLUSION:**

Las velocidades obtenidas con un quemador de 6" de diámetro son más apropiadas que las velocidades obtenidas con el quemador de 8" de diámetro.

# APENDICE No. 9



Esquema simplificado del flujograma propuesto por ATRITOR

## APENDICE N° 10

### DATOS DEL CARBON

Datos Técnicos	Carbón	
	Grueso	Pulverizado
Poder Calorífico inferior (Kcal/Kg)	6,700	6,700
Eficiencia de Combustión ( )	-----	1.20
<u>Composición Química %</u>		
Carbón fijo	60.4	60.4
Volátiles	26.0	26.0
cenizas	12.6	12.6
azufre	< 1.0	< 1.0
humedad, como recibido	5.5	< 1.6
<u>Análisis elemental</u>		
C	75.0	75.0
H	5.0	5.0
S	0.75	0.75
O		
N	{ 6.65	{ 6.65
Cenizas	12.6	12.6
Indice Hardgrove	50 - 55	
<u>Análisis granulométrico</u>	<u>mm / %</u>	<u>LAR Carbón:</u>
	> 25: 1.1	75% < 0.088mm
	25 - 9.5: 6.6	(170 mesh)
	9.5 - 4.75: 19.9	<u>Atritor:</u>
	4.75 - 2.36: 16.7	75% < 0.075mm
	2.36 - 1.00: 22.6	<u>CPAG:</u>
	1.0 - 0.3: 19.5	90% < 0.090mm
	0.3 - 0.075: 9.5	
	< 0.075: 4.1	
Precio Carbón, CIF Lima US\$/t	50	50
Costos de pulverización US\$/t		
Transporte Callao - La Oroya US\$/t	-----	60
Lima - La Oroya US\$/t	9.14	28
Precio CIF La Oroya US\$/t	59.14	22160

## APENDICE N°11

### BALANCE TERMICO DEL TANQUE DE SERVICIO N° 02

Capacidad = 22 455 galones de Petróleo N°6

1. Flujo de vapor que ingresa al tanque de servicio por el serpentín interior.

De tablas de flujo másico de vapor para una presión de 40 psi. y una velocidad de 40 m/seg. tenemos:

Tanque	Diam. (pulq)	Vol. Espec (pie <sup>3</sup> /lb)	Flujo másico ( lb/h)
N° 02	1	10.498	269.54

2. Balance del Petroleo N°6

#### 2.1 Calculo del calor requerido (Q)

$$\begin{aligned}T_1 &= \text{Temp. de ingreso} &&= 40^\circ\text{C} = 104^\circ\text{F} \\T_2 &= \text{Temp. de salida} &&= 70^\circ\text{C} = 158^\circ\text{F} \\C_p &= \text{Calor espec. (BTU/lb }^\circ\text{F)} &&= 0.501564 \\ \text{Viscosidad (SSU) } &100^\circ\text{ F} &&= 2\ 800 \\ \text{Densidad (lb/gal)} &&&= 8.033 \\ \text{Flujo volumetrico (gal/hr)} &&&= 1263 \\ m &= \text{Densidad x Flujo volumetrico} &&= \text{Flujo másico}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= m \times C_p \times (T_2 - T_1) \\ Q &= 274\ 790.19 \text{ BTU/hr.} = 80.51 \text{ Kw}\end{aligned}$$

- 2.2 Vapor requerido para el calentamiento del PR-6 (m)

Datos :

Presión = 40 psi

hf = 548.89 KJ/°K (entalpias de tablas vapor sat)

hg = 2721.3 KJ/Kg

Rendimiento de 60% = n = 0.6

$$\frac{Q}{n} = m \times (hg - hf)$$

$$m = 0.06176 \text{ Kg/seg} = 489.19 \text{ lb/hr}$$

### 2.3 Tiempo que dura el calentamiento de PR-6

$$\text{Tanque N}^\circ 2 = \frac{489.19}{269.54} = 1 \text{ h } 48 \text{ min.}$$

## 3. BALANCE DEL PAV-500

### 3.1 Cálculo del calor requerido (Q)

$T_1$ = Temp. de ingreso	= 40° C = 104°F
$T_2$ = Temp. de salida	= 70° C = 158°F
$C_p$ = Calor espec. (BTU/lb °F)	= 0.60
Viscosidad (SSU) 100 °F	= 10 000
Densidad (lb/gal)	= 0.084
Flujo volumetrico (gal/hr)	= 1263
$m$ = Densidad x Flujo volumétrico	

$$Q = m \times C_p \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 330 806.98 \text{ BTU/hr.} = 96.92 \text{ Kw}$$

### 3.2 Vapor requerido para el calentamiento. del PAV-500 (m)

Presión	= 40 psi
hf	= 548.89 KJ/°K (entalpias de tablas vapor sat)
hg	= 2721.3 KJ/Kg
Rendimiento de 60%	= $n = 0.6$

$$\frac{Q}{n} = m \times (hg - hf)$$

$$m_o = 0.07435 \text{ Kg/seg} = 588.9 \text{ lb/hr}$$

### 3.3 Tiempo que dura el calentamiento del PAV-500

$$\text{Tanque N}^\circ 2 = \frac{588.9}{269.54} = 2 \text{ h } 6 \text{ min.}$$

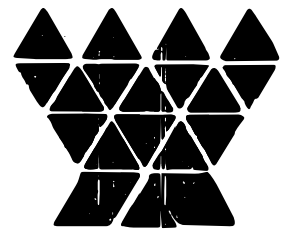
#### 4. CONCLUSIONES

	Calor requerido (Kw)	Vapor requerido (lb/hr)	Tiempo de calentamiento en el tanque (hrs)
PR-6	80.51	489.19	1h 48min
PAV-500	96.92	588.90	2h 6min



**APENDICE N°12**

**DOCUMENTOS PROBATORIOS (Certificados de trabajo)**



**CERTIFICADO DE TRABAJO**

El que suscribe Gerente General de la Empresa Promotora del Carbón S.A.

**CERTIFICA QUE :**

El Sr. **ROGGER INCIO SANCHEZ** ha trabajado en **PROCARBON** desde el 2 de Enero de 1984 hasta el 30 de Octubre de 1989, fecha en que ha presentado su renuncia por así convenir a sus intereses.

Durante el tiempo en que ha laborado en esta empresa ha demostrado capacidad, contracción al trabajo y honradez profesional en las labores encomendadas, habiendo ocupado interinamente la Gerencia General por espacio de un año.

Al no conocer algo que desdiga de su honorabilidad, se le expide el presente certificado a su solicitud y para los fines que estime conveniente.

San Isidro, Octubre 31 de 1989

**JAVIER MEAVE CASTILLO**

Gerente General

/nvc.

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Quien suscribe, Ing. Luis Morán Gandarillas, en calidad de ex-Presidente de la Empresa Promotora del Carbón S.A. (PROCARBON), Empresa liquidada en el año 1991, extendiendo esta constancia la cual certifica que el Ing. Roger Incio Sánchez, trabajó entre los años 1984-1989 en dicha Empresa, a tiempo completo y con especial atención en materia de "Briquetas de Carbón".

Se extiende la presente, a solicitud del Ing. Roger Incio Sánchez, y en vista que la Empresa Promotora del Carbón S.A. (PROCARBON), se encuentra liquidada.

Lima, 20 de junio de 1996

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. F. Morán', written over a horizontal line.

Ing. Luis Morán Gandarillas  
CIP No.



**EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.**  
 Casilla 2412 - Lima 1 Perú, Cables: Centromin Perú, Teléfonos: 4760979 - 4761010

C O N S T A N C I A

Quien suscribe deja constancia que el señor JOSE ROGGER INCIO SANCHEZ, de conformidad al Código Civil, Artículo Nro. 1764 ha prestado Servicios No Personales - Contratos de Locación de Servicios a la Empresa Minera del Centro del Perú S.A., "CENTROMIN PERU S.A.", realizando los siguientes trabajos específicos en las fechas que se indican a continuación:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| Del 15-Ene-91 Al 31-Dic-91 | Contrato Locación de Servicios Nro. 010-91 - Dirección de Energía. <ul style="list-style-type: none"> <li>. Estudio del uso del carbón mineral y otras fuentes de energía no convencionales.</li> <li>. Desarrollar Programa Piloto de fabricación y utilización de briquetas de carbón.</li> </ul> |
| Del 01-Ene-92 Al 31-Dic-92 | Contrato Locación de Servicios Nro 006-92 - Dirección de Energía. <ul style="list-style-type: none"> <li>. Estudio óptimo de los energéticos que se consumen en Campamentos.</li> <li>. Desarrollo del Proyecto de Sustitución del petróleo industrial Nro. 6 por carbón pulverizado.</li> </ul>    |
| Del 01-Ene-93 Al 31-Dic-93 | Contrato Locación de Servicios Nro. 054-93 - Dirección de Energía. <ul style="list-style-type: none"> <li>. Culminación del programa de racionalización de energía en todos los circuitos de las Unidades de Producción.</li> </ul>   |
| Del 01-Ene-94 Al 31-Dic-94 | Contrato Locación de Servicios Nro. 123-94 - Dirección de Energía <ul style="list-style-type: none"> <li>. Desarrollo de los Estudios de Optimización del uso y racionalización de energía térmica y eléctrica en todas las Unidades de Producción.</li> </ul>                                      |
| Del 02-May-95 Al 30-Dic-95 | Contrato Locación de Servicios Nro. 495-96 - Dirección de Energía <ul style="list-style-type: none"> <li>. Supervisar y controlar instalación</li> </ul>  |





**EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.**  
Casilla 2412 - Lima 1 Perú, Cables: Centromin Perú, Teléfonos: 4760979 - 4761010


de medidores de energía eléctrica en las casas de las Unidades de Producción.

- . Plantear y ejecutar eficaz supervisión de la distribución de aire comprimido, Unidad de Producción, Cerro de Pasco.
- . Dictado de charlas de ahorro de energía en las Unidades de Producción.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime convenientes.

La Oroya, 20 de Junio de 1,996

P' CENTROMIN PERU S. A.



Roger López Villanueva  
Jefe Dpto. de Personal  
y Bienestar



**EMPRESA MINERA DEL CENTRO DEL PERU S.A.**  
 Casilla 2412 - Lima 1 Perú, Cables: Centromin Perú, Teléfonos: 4760979 - 4761010

**CERTIFICADO DE TRABAJO**

Quien suscribe certifica que el señor **JOSE ROGGER INCIO BANCHEZ**, ha trabajado en la Empresa Minera del Centro del Perú S.A., "CENTROMIN PERU S.A." en calidad de Contratado a Plazo Fijo desde el 15 de Noviembre de 1,989 hasta el 31 de Diciembre de 1,990, desempeñando durante ese período de tiempo los cargos que se mencionan a continuación:

Del 15-Nov-89	Al 31-Dic-89	Gerencia Central de Operaciones Dirección de Energía - Cargo: Ingeniero Químico Especialista en Carbón - División: La Oroya
Del 01-Ene-90	Al 31-Dic-90	Gerencia Central de Operaciones - Dirección de Energía - Cargo: Ingeniero Químico - División: La Oroya

Asimismo, se deja constancia que el indicado ex-trabajador cesó en nuestro servicio por término de contrato.

Se expide el presente Certificado de Trabajo para los fines que estime convenientes.

La Oroya, 14 de Junio de 1,996

p' CENTROMIN PERU S. A.



Rogger L. Iserena Carlos  
 Jefe Dpto. de Personal  
 y Bienestar (e)