

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Sustitución del Petróleo y/o Bagazo por Carbón Antracita del Alto Chicama en el Sector Papelero y Azucarero del Departamento de la Libertad ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

JUSTO PASTOR CHACON MARROQUIN

PROMOCION: 1978 - I

LIMA • PERU • 1990

PROLOGO

El carbón antracita del Alto Chicama es evidentemente el combustible alternativo con mayor posibilidad de uso, para dar solución en gran medida al problema del déficit de energía eléctrica del país, en momentos actuales del inicio de la ya anunciada década de agotamiento de nuestras reservas de petróleo.

Por otro lado, las industrias más importantes del departamento de la Libertad, tales como las Cooperativas Azucareras y la Industria Papelera Trupal tienen la pródiga de su ubicación geográfica cercana a los yacimientos de carbón del Alto Chicama, la cuenca carbonífera más importante del Perú. Dentro de este contexto, en el presente trabajo se desarrollan los aspectos técnicos y económicos de la factibilidad de sustitución del petróleo - y/o bagazo por carbón antracita del Alto Chicama en el Sector Azucarero y Papelero de la región.

El trabajo se desarrolla en siete capítulos. En el primer capítulo se plantea los objetivos y los alcances del presente trabajo. En el segundo capítulo, se describe el carbón como fuente de energía y combustible alternativo en el país. En el tercer capítulo se presenta la actividad productiva, demanda de energía y requerimientos de

combustible de los sectores con mayores posibilidades de uso como las Cooperativas Azucareras y la Industria Papelera Trupal. En el cuarto capítulo se detallan las consideraciones técnicas y energéticas del petróleo, bagazo y carbón. El sexto capítulo es el objetivo principal de este trabajo, la factibilidad técnica y económica del uso del carbón antracita del Alto Chicama en calderas de Ingenios Azucareros e Industria Papelera. Se concluye el trabajo en el séptimo capítulo con las conclusiones y recomendaciones sobre políticas de costos reales del petróleo y explotación del carbón por parte del Gobierno que sin los cuales no sería atractivo ningún intento de sustitución.

El desarrollo del siguiente trabajo fué posible gracias a la colaboración en aporte de informaciones de muchos amigos y colegas que actualmente están pensando en el carbón como una solución del déficit de energía en el Perú y en forma muy particular, a la Gerencia y Directivas de la C.A.A. Cartavio, quienes me permitieron usar sus instalaciones para conocer mejor el comportamiento de la antracita del Alto Chicama.

También hago extensivo mi agradecimiento a los colegas y compañeros de trabajo del departamento de Ingeniería de la Fabrica Trupal, señorita Marcela Ruiz, señores José Iglesias y Roberto Patiño, quienes colaboraron en la elaboración del presente trabajo.

TÍTULO: "SUSTITUCIÓN DEL PETRÓLEO Y/O BAGAZO POR CARBÓN ANTRACITA DEL ALTO CHICAMA EN EL SECTOR PAPELERO Y AZUCARERO DEL DPTO. DE LA LIBERTAD"

I N D I C E

	Página
PROLOGO	1
CAPITULO I : INTRODUCCION	3
1.1. Objetivos del presente trabajo y sus alcances	3
1.2. Realidad y panorama de la energía y los combustibles en el Perú	5
1.3. Nuevas fuentes de energía y combustibles alternativos	6
1.4. Carbón como fuente de energía - opción en el Perú	7
CAPITULO II : CARBON - COMBUSTIBLE Y ENERGIA	9
2.1. Origen del carbón	9
2.2. Características generales del carbón y su utilización	11
2.2.1. Propiedades físicas	11
2.2.2. Composición química	13
2.2.3. Clasificación del carbón	14
2.3. Listado preliminar de yacimientos carboníferos peruanos	19
2.3.1. Ubicación geográfica de los depósitos de carbón	19
2.3.2. Reservas potenciales de los depósitos conocidos a la fecha	22

2.3.3.	Reservas por clases y tipos de carbón	24
2.4.	Características de los carbones peruanos del Alto Chicama, de algunos carbones del mundo	25
2.4.1.	Algunos valores de análisis físico-químicos de los carbones peruanos	25
2.4.2.	Análisis inmediatos registrados de muestras de carbón del Alto Chicama	26
2.4.3.	Características de carbones peruanos, en comparación con algunos carbones del mundo	26
2.5.	Carbones adecuados para cada uso	27
2.6.	Usos inmediatos y posibles del carbón en el país	28
2.6.1.	Mercado doméstico	28
2.6.2.	Mercado energético	28
2.6.3.	Mercado industrial	29
2.7.	Industrias de sustitución factibles	30
2.7.1.	Industria ladrillera	31
2.7.2.	Industria del cemento	31
2.7.3.	Cooperativas azucareras e industria papelera	32
2.8.	Precios del carbón	32

CAPITULO III : SINTESIS DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA, DEMANDA DE ENERGIA Y REQUERIMIENTOS DE COMBUSTIBLE EN LOS SECTORES PAPELERO Y AZUCARERO DEL DPTO. DE LA LIBERTAD 34

3.1.	Generalidades	34
3.1.1.	Fabricación de papel	35
3.1.2.	Elaboración de azúcar	36

3.2.	Producción de papel en Sociedad Paramonga Ltda. S.A., Fábrica Trupal: Máquinas Pape _l leras PPX-7 y PPX-8	37
3.2.1.	Consumo de bagazo como materia prima en la fabricación de papel en máquinas pape _l leras PPX-7 y PPX-8	41
3.2.2.	Demanda de energía y consumo de petróleo en máquinas PPX-7 y PPX-8	42
3.3.	Producción de azúcar en Ingenios Azucareros de La Libertad	52
3.3.1.	Demanda de energía y potencial de producción de energía eléctrica en Centrales Azucareros	54
3.3.2.	Interrelación insumo-combustible entre las CAAs y Trupal	59
CAPITULO IV : CO SIDERACIO ES TEC ICAS-E ERGETICAS DEL CARBO , BAGAZO Y PETROLEO		62
4.1.	Análisis aproximado y completo del carbón composición química del bagazo y petróleo	62
4.2	Poder calorífico del carbón, bagazo y pe _l tróleo	69
4.3.	Equivalencias caloríficas entre el carbón antracita del Alto Chicama, bagazo y pe _l tróleo	73
4.4.	Cálculos de combustión para petróleo, ba _g azo y carbón antracita	74
CAPITULO V : TECNOLOGIAS DE COMBUSTION DE CARBON EN GENERADORES DE VAPOR-CALDERAS		88
5.1.	Calderas convencionales a vapor	89
5.1.1.	Calderas a carbón en lecho fijo	90
5.1.2.	Calderas con quemadores a carbón pulverizado	97
5.1.3,	Calderas con quemadores ciclónicos a car _b bón	99

5.1.4.	Mezcla de carbón con petróleo o agua ...	104
5.2.	Nuevas tecnologías de calderas de lecho fluidizado para quemar carbón	105
5.2.1.	Principios del lecho fluidizado-fluidización	105
5.2.2.	Diferentes tipos de fluidización aplicados en calderas	109
5.2.2.1.	Lecho fluidizado turbulento	111
5.2.2.2.	Lecho fluidizado burbujeante	113
5.2.2.3.	Lecho fluidizado circulante	118
 CAPITULO VI : FACTIBILIDAD TECNICA-ECONOMICA DEL USO DE CARBON A TRACITA DEL ALTO CHICAMA, E CALDERAS DE INGENIOS AZUCAREROS E INDUSTRIA PAPELERA-TRUPAL DEL DPTO. DE LA LIBERTAD		 126
6.1.	Quema de carbón como sustituto parcial - y/o total de bagazo y/o petróleo en calderas de ingenios azucareros - Método de combustión en lecho fijo - Spreader stocker	128
6.1.1.	Caso específico del "Proyecto carbón 1985" efectuado en la cooperativa Cartavio ...	130
6.1.2.	Experiencias logradas y conclusiones finales del "Proyecto carbón 1985" - Cartavio	137
6.1.3.	Posibilidad de ampliar, mejorar y aplicar las experiencias del "Proyecto carbón 1985" en otras industrias del sector	141
6.2.	Proyecto de adquisición e instalación de una caldera a carbón de lecho fluidizado circulante de 250,000 lbs/hr, 700°F. Sociedad Paramonga Ltda. S.A. Fábrica Trupal	142
6.2.1.	Esquema general del Proyecto	143
6.2.1.1.	Tipo y precio del carbón	146
6.2.1.2.	Selección de la tecnología	147
6.2.1.3.	Capacidad de la nueva caldera y requerimientos de carbón	150

6.2.2.	Caldera de carbón del proyecto	152
6.2.2.1.	Selección de la caldera	152
6.2.2.2.	Infraestructura necesaria	152
6.2.2.3.	Ubicación de la caldera y los equipos	154
6.2.2.4.	Equipos principales'	154
6.2.3.	Fabricación y montaje	158
6.2.3.1.	Construcción de la planta	158
6.2.3.2.	Fabricación de equipos y maquinarias	160
6.2.3.3.	Obras civiles	161
6.2.3.4.	Cronograma de actividades	161
6.2.4.	Inversiones	163
6.2.4.1.	Inversión fija	163
6.2.4.2.	Gastos preoperativos	165
6.2.4.3.	Capital de trabajo inicial	166
6.2.4.4.	Intereses durante construcción	166
6.2.4.5.	Inversión total	175
6.2.5.	Margen de ahorros	175
6.2.5.1.	Costos de vapor y electricidad	179
6.2.6.	Evaluación del Proyecto	179
6.2.6.1.	Premisas del análisis	180
6.2.6.2.	Métodos del análisis	181
6.2.6.3.	Resultados	182
6.2.6.3.1.	Principales indicadores financieros	191
6.2.6.4.	Análisis de sensibilidad	193
6.3.	Análisis de la alternativa del proyecto de adquisición de una caldera piloto de lecho fluidizado circulante de 50,000 lbs/	

6.3.	hr, 600 Psig-700°F, para propósitos de investigación y capacitación tecnológica (Sociedad Paramonga Ltda. S.A. Fábrica Trupal) y que sirva como sustento y confirmación de cualquier proyecto de uso de la antracita peruana (Alto Chicama) para propósitos de generación eléctrica en el Perú	199
6.3.1.	Sustento y descripción del Proyecto	199
6.3.2.	Razones para la inversión	202
6.3.3.	Costo estimado de la inversión	203
6.3.3.1.	Equipos locales adquiridos	204
6.3.4.	Servicio de la deuda	204
6.3.5.	Ahorros obtenibles	205
6.3.6.	Costos operacionales incrementados (anuales)	206
6.3.7.	Características técnicas, datos y cálculos para la caldera piloto Ahlstrom	206
CAPITULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		213

ANEXOS

PLANOS N° 01	- Diagrama de flujo fábrica Trupal
N° 02	- Diagrama de flujo de un Ingenio Azucarero
N° 03	- Diagrama de flujo máquina papele- ra PPX-7 Trupal
N° 04	- Balance de producción diario de papel Trupal
N° 05	- Diagrama de balance térmico típi- co de la planta de fuerza con PPX-7 y PPX-8 en operación
N° 06	- Distribución de vapor - Cooperati- va Cartavio
N° 07	- Caldera bagacera - Sistema Sprea- der stocker neumático

PLANOS N° 08 - Proceso de quemar carbón en calderas bagaceras

N° 09 Proceso de quemar carbón en la caldera N° 17 - Cartavio.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO Y SUS ALCANCES

Vapor y energía son dos de los requerimientos de primer orden tanto para la fabricación de papel, como para la elaboración de azúcar. En ambos ca sos se requieren grandes cantidades de vapor para la generación eléctrica, fuerza motriz y para los procesos de pulpeo, secado de la hoja de papel y el cocimiento del jugo de caña. La relación vapor/electricidad es mayor para la elaboración de azúcar y menor en la fabricación de papel.

En una fábrica de azúcar con óptimo balance energético, el bagazo producido por la molienda de la caña debería ser más que suficiente para respon der a sus requerimientos de combustible. Por otro lado, el bagazo es materia prima básica de la industria de papel y su sustitución por petróleo re sidual por parte de la fábrica de papel para cap tar su materia prima, resulta onerosa para el ingenio azucarero; que dicho en términos concluyentes, en el Perú se fábrica papel a base de petró

leo.

Siendo viable la posibilidad de contar con carbón como combustible alternativo en la sustitución del petróleo y bagazo propendiendo así a minimizar el uso del petróleo y hacer disponible más bagazo para la industria de papel.

En este trabajo se describe los aspectos técnicos y económicos de la posibilidad del uso del carbón mineral en las calderas de los ingenios azucareros por el método de combustión en lecho fijo y el método del lecho fluidizado en la industria papelera.

Los alcances de este trabajo se basan en datos de entidades oficiales, nacionales e internacionales en los referente al carbón, aplicaciones reales del método de combustión en lecho fijo efectuados por el autor y extracto de informaciones técnicas especializadas en lo referente a calderas de lecho fluidizado circulante, la más moderna tecnología para quemar en forma eficiente combustibles sólidos y residuales.

El siguiente trabajo tiene limitaciones en sus precisiones, por cuanto en el Perú no se conocen casos concretos del uso del carbón antracita para propósitos de generación térmica, por lo tanto,

no se conoce en toda su magnitud el comportamiento de la antracita peruana.

1.2. REALIDAD Y PANORAMA DE LA ENERGIA Y LOS COMBUSTIBLES EN EL PAIS

Tradicionalmente en el Perú, los combustibles para el transporte y las actividades industriales y productivas en general, se han provenido casi exclusivamente del petróleo, en el caso de energía eléctrica ésta ha sido generada por centrales hidroeléctricas y centrales térmicas que utilizan petróleo como combustible.

En la actualidad, las reservas estudiadas y disponibles del petróleo en el Perú, solo permiten asegurar un horizonte de normal autoabastecimiento - hasta las actuales décadas de 1990, si se mantenían las curvas de consumo presente y no se concretan nuevas áreas que se hayan estudiado.

Por otro lado, si bien es cierto que el potencial hidroeléctrico del Perú es vasto y apenas utilizado, se sabe que el nivel de endeudamiento actual del país y su capacidad de pago hacen parecer como poco probable la posibilidad de conseguir financiamiento para proyectos hidroeléctricos de mediana y gran envergadura al ritmo que quiera la demanda,

especialmente para atender dichas necesidades en los próximos cinco años. La importancia del petróleo para atender nuestras necesidades en este rubro, parece una alternativa que se debe ir estudiando y negociando desde ahora de manera provisoria.

1.3. NUEVAS FUENTES DE ENERGIA Y COMBUSTIBLES ALTERNATIVAS

Resulta de primera prioridad nacional y sectorial la evaluación y ejecución de estudios de combustibles y fuentes de generación de energía alternativas y sustitutorias de las que venimos utilizando convencionalmente.

Dentro de la gama de posibilidades de recursos nacionales alternativos y sustitutorios, el carbón mineral existente en diferentes yacimientos localizados en diferentes lugares geográficos del Perú, es una de las posibilidades que ofrece las mejores perspectivas en el corto y mediano plazo, si se promueve y programa su utilización inmediata y progresiva en las actividades siguientes :

- Como combustible de las calderas de plantas térmicas de generación de electricidad.
- Como combustible sustitutorio en algunas necesidades industriales (hornos y calderas).

- Como combustible de uso doméstico-fabricación - de briguetas.

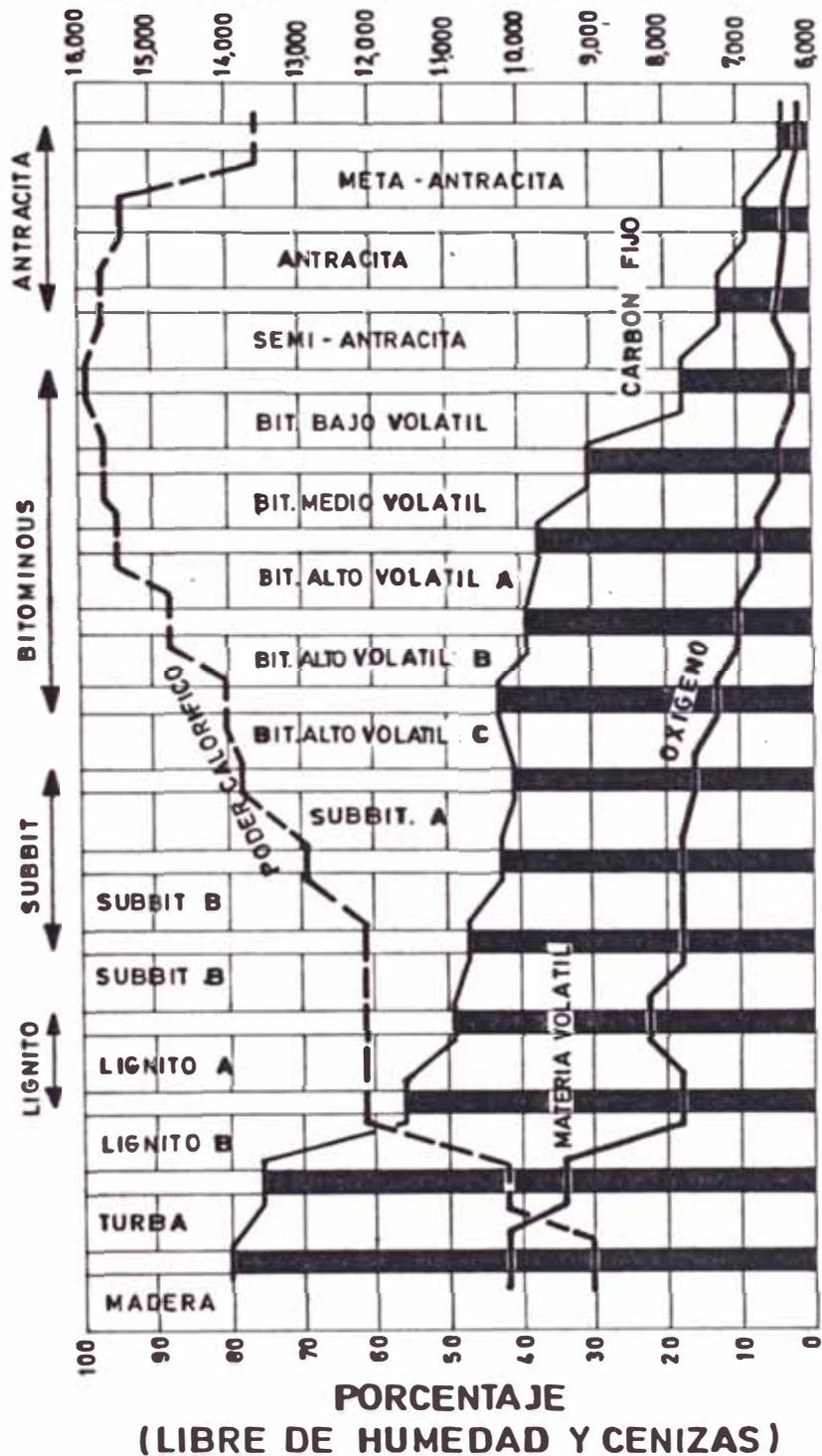
1.4. CARBON COMO FUENTE DE ENERGIA-OPCION EN EL PERU

El Perú cuenta con un potencial energético bastante considerable y variado, comprendiendo recursos agotables y no agotables. Entre los agotables se encuentra el carbón mineral, cuyas reservas probadas y probables a la fecha están calculadas en 1000 millones de toneladas métricas y constituye una de las principales fuentes energéticas que puede reemplazar al petróleo como combustible, por cuanto existen modernas tecnologías disponibles para su aplicación.

El carbón ha estado siendo utilizado en Europa y en los Estados Unidos por décadas, especialmente en los últimos quince años por la escasez y el costo de los derivados del petróleo y ha visto incrementada su explotación y utilización de manera tan espectacular que sería riesgoso e irresponsable ignorar sus posibilidades.

ESTADOS PROGRESIVOS DE TRANSFORMACION DE LA MATERIA VEGETAL EN CARBON

BTU/LB
(LIBRE DE HUMEDAD Y MATERIA MINERAL)



CAPITULO 2

CARBON-COMBUSTIBLE Y ENERGIA

2.1. ORIGEN DEL CARBON

El carbón es un combustible extremadamente heterogéneo que contiene materia orgánica e inorgánica, es el resultado de una serie de cambios en sus propiedades físicas y orgánicas; por la gradual descomposición de la materia vegetal sobre largos periodos de tiempo, sometidos a un ambiente de entierro y sedimentación. La materia vegetal que es la madera, hojas y toda clase de vegetación, están constituidos de carbono(C), hidrógeno(H_2), oxígeno(O_2) nitrógeno(N_2), cenizas y humedad que sometidos a grandes presiones y temperaturas, las menos estables, el hidrógeno y oxígeno, combinados con algunos carbonos pasan a formar el dióxido de carbono e hidrocarburos, que siendo volátiles, escapan a la atmósfera, pero los más estables, la mayoría de los carbones, permanecen en su estado sólido, constituyendo el principal componente del carbón, cuyo período de carbonificación conlleva desde 30 millones de años, para el carbón más joven (lignito) y hasta 300 millones de años para el carbón

geológicamente más viejo (antracita).

De acuerdo a la teoría popular, depósitos de vegetaciones con pântanos y otros ambientes húmedos, fueron primeramente sometidos a cambios bioquímicos y geoquímicos. Durante el estado bioquímico - ocurrió una gradual degradación de la materia orgánica, particularmente celulosa y proteína y una pérdida de hidrógeno y oxígeno y como resultado de estos cambios hubo un incremento de contenido de carbono de los depósitos de materia vegetal. El producto final de este cambio fué la turba, el cual considerado el precursor del carbón. El estado geoquímico ocurrió con la acumulación de grandes profundidades de sedimentos sobre la turba, que sometidos a influencias geológicas, movimientos tectónicos, incrementos de presión y temperatura por el mismo peso de los sedimentos y calentamientos de la tierra, la turba fué convirtiéndose progresivamente en una sustancia dura, que al mismo tiempo el agua y el material volátil contenido decrecieron, mientras el contenido de carbón y el poder calorífico aumentaron.

El aumento de temperatura afecta la composición química del carbón causando la disminución del contenido de hidrógeno y oxígeno, pudiendo causar excesivos calentamientos de la tierra, la conversión

de carbón en coke natural. El incremento de presión afecta a las propiedades físicas, tales como la dureza, porosidad, etc.

Los movimientos tectónicos fueron particularmente para la formación de antracita, por eso, los mayores depósitos de antracita están en las regiones montañosas.

2.2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL CARBON Y SU UTILIZACION

Tanto las propiedades químicas como físicas son bastante variables y es difícil encontrar dos carbones que tengan la misma composición aunque pertenezcan al mismo rango, determinando a la vez propiedades físicas distintas. Sin embargo, se han logrado establecer características generales que son de mucha importancia para los usos que, como combustible, se les tenga que dar.

2.2.1. Propiedades físicas

Las más importantes para determinar su uso adecuado son :

- Poder calorífico : es quizás el más importante puesto que el calor potencial es en realidad la mercancía objeto de compra-venta, estos valores dependen de la cantidad de humedad y cenizas,

así como de la composición de la materia orgánica que varían desde 3,000 Kcal/Kg en ciertos lignitos hasta 8,300 en algunos carbones secos de alto grado, principalmente antracita. Actualmente sin embargo y debido al alto costo y escasez de petróleo, muchos países están utilizando lignito que es el más pobre de los carbones.

- **Temperatura de fusión de las cenizas :** se refiere a la temperatura en la cual la ceniza se plástica o fluidifica en la parrilla de los hornos.
- **Gravedad específica :** es la relación entre el peso del carbón en el aire y el peso de igual volumen de agua, generalmente los valores varían entre 1.3 a 1.5 con la antracita la mayor densidad y el bituminoso la menor, la ignición del carbón mejora cuando disminuye la gravedad, influyendo de esta manera en la velocidad de combustión.
- **Dureza :** los carbones difieren mucho en dureza y están en relación directa con la estructura que poseen.
- **Triturabilidad ;** es la facilidad de molienda del carbón.

La presencia de minerales como pizarra y pirita aumentan la dificultad de trituración.

- Características de coquización : esta característica es muy importante en la clasificación de un carbón destinado a los hornos de coque para propósitos siderúrgicos y metalúrgicos. Usualmente se han obtenido coque de los grados bituminosos. Se están experimentando con los lignitos, sub-bituminosos y antracíticos con resultados todavía pobres
- Color : varía desde marrón en los lignitos a gris oscuro en los bituminosos y negro intenso en la antracita.

2.2.2. Composición química

El carbón es una sustancia compuesta principalmente por carbono(C), oxígeno(O₂), hidrógeno(H₂), nitrógeno(N₂), cuyos componentes varían según el grado de carbonificación, desde la madera pasando por la turba, carbón bituminoso (hulla) y antracita.

El carbono está presente como carbón fijo y material volátil, relación carbono fijo y material volátil, es alta en la antracita y baja en el lignito.

El material volátil es un ingrediente activo que ayuda a producir energía calorífica, siendo el carbono fijo el que constituye la fuente princi -

pal de calor.

Entre las impurezas se tiene el azufre y las cenizas o residuos no combustibles.

Del contenido de las impurezas depende el uso de los carbones en ciertas industrias, el azufre como impureza orgánica del carbón, es perjudicial debido principalmente a que en la combustión forma ácidos muy corrosivos, exhalándose anhídridos sulfurosos a la atmósfera que pueden ocasionar las lluvias ácidas, las cenizas en algunos casos también son inconvenientes, ya que impiden la producción eficiente de energía calorífica del carbono. La humedad, otro componente no combustible que consume calor de la combustión de la parte combustible. Sus valores varían desde 40% en muchos lignitos - hasta 2 ó 3% en la antracita.

2.2.3. Clasificación del carbón

Varios son los métodos de clasificación del carbón, según su calidad. El más amplio grupo ha sido hecho sobre la base del rango. Posiblemente el más común de éstos es el de la ASTM. En esta clasificación, los criterios básicos son el carbón fijo y el poder calorífico.

Como características principales de los carbones a

grupados por rangos en ASTM, tenemos :

LIGNITO

Es el más bajo rango de carbón, formado desde la turba, coloración pardo claro hasta oscura. Alto contenido de humedad y bajo poder calorífico (2,000 -5,000 Kcal/Kg).

SUB-BITUMINOSO

De color negro opaco. Ha perdido algo de humedad pero aún tiene poder calorífico bajo.

BITUMINOSO

Son de material duro, compacto, de color marrón -brillante. Bajo contenido de humedad y alto poder calorífico (6,000-7,000 Kcal/Kg). Arde con llama amarilla y con mucho humo. Es de los más usados y presenta diversas clases y variantes.

ANTRACITA

Es el último estado de evolución del carbón. Es el carbón de color negro, duro y frágil, brillante y pesado. Bajo contenido de humedad y gran contenido de carbono, así como alto poder calorífico - (8,000 Kcal/Kg). Arde lentamente casi sin llama, sin humo, es el carbón de mejor calidad que hay que saber utilizar.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS CARBONES

PROPIEDADES	ANTRACITA	BITUMINOSO	SUB-BITU MINOSO	LIGNITO
Densidad	Muy alto	Muy bajo	---	Alto
Color	Negro	---	---	Pardo
Brillo	Brilloso	---	---	Opaco
Porosidad	Alta	Muy baja	---	Muy alta
Dureza	Baja	Muy alta	---	Baja
Reflectancia	Muy alta	---	---	Muy baja
Constituyentes	Pocos	---	---	Muchos

CLASIFICACION POR RANGOS DE PORCENTAJE DE LOS COMPONENTES QUIMICOS DE LOS CARBONES

PROPIEDADES	ANTRACITA	BITUMINOSO	SUB-BITUMINOSO	LIGNITO
Hidrógeno	1.8- 3.4	3.9- 5.9	3.8	2.8- 3.1
Oxígeno	0.7- 2.2	1.8-10.6	12.2-13.2	12.1-12.4
Nitrógeno	0.6- 1.5	0.9- 2.0	1.0- 1.3	0.7- 0.8
Azufre	0.5- 1.7	0.5- 4.3	0.3- 0.4	0.5- 0.7
Agua	2.1- 5.8	1.4-14.1	19.6-23.2	33.7-34.8
Cenizas	6.9-19.6	2.8-13.9	3.8- 4.0	6.2- 7.3

Análisis hecho del carbón como es recibido.

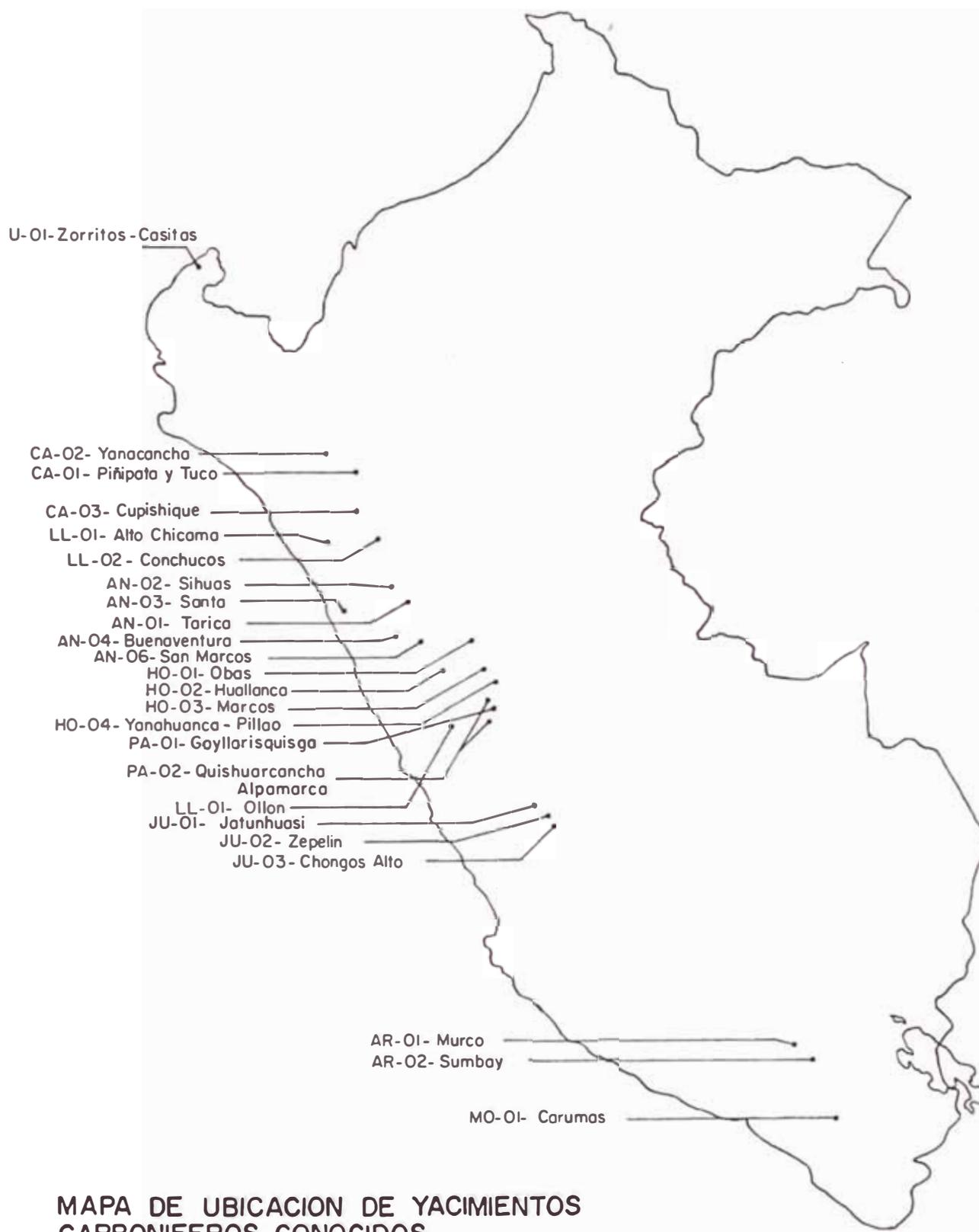
El hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre en el análisis completo y la ceniza y el agua con el análisis aproximado.

CAMBIOS EN LA COMPOSICION DEL CARBON A MEDIDA QUE
AUMENTA SU RANGO

	LIGNITO	SUB-BITU MINOSO	BITUMINOSO	ANTRACITA
Carbón fijo %	47.4	59.5	66.0	93.8
Materia volátil %	52.9	40.5	34.3	6.2
Humedad natural %	30-40	10-25	7-15	2-4

2.3. LISTADO PRELIMINAR DE YACIMIENTOS CARBONIFEROS PERUANOS

2.3.1. Ubicación geográfica de los depósitos carboníferos



UBICACION DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS CARBONIFEROS PERUANOS

DEPOSITO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CLASE DE CARBON	ACCESO AL PUERTO
TUMBES	TUMBES	CMDTE. VILLAR	ZORRITOS-CASITAS	LIGNITO	150 Kms DE TALARA
YANACANCHA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LA ENCAÑADA	ANTRACITA	228 Kms DE PACASMAYO
PIÑIPATA	CAJAMARCA	HUALGAYOC	HUALGAYOC	ANTRACITA	310 Kms DE PACASMAYO
CUPIISNIQUE	CAJAMARCA	CONTUMAZA	TRINIDAD	ANTRACITA	72 Kms DE PACASMAYO
ALTO CHICAMA	LA LIBERTAD	OTUZCO Y	USQUIL Y	ANTRACITA	160 Kms DE SALAVERRY
	STGO.DE CHUCO	STGO.DE CHUCO	QUIRUVILCA		
SANTA					
LA GALGADA	ANCASH	PALLASCA	TAUCA	ANTRACITA	114 Kms DE CHIMBOTE
ANCOS	ANCASH	PALLASCA	TAUCA	ANTRACITA	104 Kms DE CHIMBOTE
LA LIMEÑA	ANCASH	PALLASCA	STA. ROSA	ANTRACITA	103 Kms DE CHIMBOTE
SAN CARLOS	ANCASH	PALLASCA	STA. ROSA	SEMI-ANTRACITA	104 Kms DE CHIMBOTE
BUEN AMIGO	ANCASH	CARAZ	CARAZ	ANTRACITA	135 Kms DE CHIMBOTE
TAPICA	ANCASH	SIHUAS	SIHUAS	ANTRACITA	191 Kms DE CHIMBOTE
SIHUAS	ANCASH	SIHUAS	QUICHES	ANTRACITA	213 Kms DE CHIMBOTE
CONCHUCOS	ANCASH	PALLASCA	CONCHUCOS	ANTRACITA	240 Kms DE CHIMBOTE
SAN MARCOS	ANCASH	HUARI	SN.MARCOS-HUANTAR	ANTRACITA	495 Kms DE CALLAO
HUALLANCA	HUANUCO	DOS DE MAYO	HUALLANCA	ANTRACITA	450 Kms DE CALLAO
OBAS	HUANUCO	DOS DE MAYO	OBAS	BITUMINOSO	502 Kms DE CALLAO
MARGOS	HUANUCO	HUANUCO	MARGOS	BITUMINOSO	455 Kms DE CALLAO
GOYLLARISQUIZGA	PASCO	D.A. CARRION	GOYLLARISQUIZGA	SUB-BITUMINOSO	341 Kms DE CALLAO
QUISHUARCANCHA	PASCO	D.A. CARRION	VILCABAMBA	SUB-BITUMINOSO	330 Kms DE CALLAO
PILLAO	PASCO	D.A. CARRION	S.P. CALLAO	SUB-BITUMINOSO	375 Kms DE CALLAO
YANAHUANCA	PASCO	D.A. CARRION	YANAHUANCA	SEMI-ANTRACITA	367 Kms DE CALLAO
ALPAMARCA	PASCO	D.A. CARRION	YANAHUANCA	SEMI-ANTRACITA	342 Kms DE CALLAO
OYON					
PAMPAHUAY	LIMA	CAJATAMBO	OYON	BITUMINOSO	250 Kms DE CALLAO
SAQUICOCHA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	SUB-BITUMINOSO	246 Kms DE CALLAO

Continúa Ubicación de los principales

DEPOSITO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CLASE DE CARBON	ACCESO AL PUERTO
GAZUNA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	255 Kms DE CALLAO
COCHAQUILLO	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	274 Kms DE CALLAO
MATICHACRA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	250 Kms DE CALLAO
ATACOCHA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	250 Kms DE CALLAO
PARUIN	LIMA	CHANCAY	STA. LEONOR	ANTRACITA	252 Kms DE CALLAO
MARAY	LIMA	CHANCAY	STA. LEONOR	ANTRACITA	255 Kms DE CALLAO
JATUNHUASI					
CELICA NEGRO					
BUENO	JUNIN	CONCEPCION	SN. J. DE QUERO	SUB-BITUMINOSO	366 Kms DE CALLAO
CACHINYS	JUNIN	HUANCAYO	YANACANCHA	SUB-BITUMINOSO	386 Kms DE CALLAO
CHONGOS ALTO					
AMELIA	JUNIN	HUANCAYO	CHONGOS ALTO	SUB-BITUMINOSO	325 Kms DE CALLAO
ZEPELIN	JUNIN	HUANCAYO	CHONGOS ALTO	SUB-BITUMINOSO	345 Kms DE CALLAO
MURCO	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUANCA	BITUMINOSO?	195 Kms DE MOLLENDO
SUMBAY	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	BITUMINOSO?	210 Kms DE MOLLENDO
CARUMAS	MOQUEGUA	MAL. NIETO	CARUMAS	SEMI-ANTRACITA	210 Kms DE ILO
PEBAS	LORETO	LORETO	INTUTO?	LIGNITO	
CHAMBARA	LORETO	LORETO	INTUTO?	LIGNITO	

Continúa Ubicación de los principales

DEPOSITO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CLASE DE CARBON	ACCESO AL PUERTO
GAZUNA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	255 Kms DE CALLAO
COCHAQUILLO	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	274 Kms DE CALLAO
MATICHACRA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	250 Kms DE CALLAO
ATACOCHA	LIMA	CAJATAMBO	OYON	ANTRACITA	250 Kms DE CALLAO
PAROQUIN	LIMA	CHANCAY	STA. LEONOR	ANTRACITA	252 Kms DE CALLAO
MARAY	LIMA	CHANCAY	STA. LEONOR	ANTRACITA	255 Kms DE CALLAO
JATUNHUASI					
CELICA NEGRO					
BUENO	JUNIN	CONCEPCION	SN. J. DE QUERO	SUB-BITUMINOSO	366 Kms DE CALLAO
CACHINYS	JUNIN	HUANCAYO	YANACANCHA	SUB-BITUMINOSO	386 Kms DE CALLAO
CHONGOS ALTO					
AMELIA	JUNIN	HUANCAYO	CHONGOS ALTO	SUB-BITUMINOSO	325 Kms DE CALLAO
ZEPELIN	JUNIN	HUANCAYO	CHONGOS ALTO	SUB-BITUMINOSO	345 Kms DE CALLAO
MURCO	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUANCA	BITUMINOSO?	195 Kms DE MOLLENDO
SUMBAY	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	BITUMINOSO?	210 Kms DE MOLLENDO
CARUMAS	MOQUEGUA	MCAL. NIETO	CARUMAS	SEMI-ANTRACITA	210 Kms DE ILO
PEBAS	LORETO	LORETO	INTUTO?	LIGNITO	
CHAMBARA	LORETO	LORETO	INTUTO?	LIGNITO	

2.3.2. RESERVAS POTENCIALES DE LOS DEPOSITOS CONOCIDOS A LA FECHA EN TONELADAS METRICAS

DEPOSITO	CLASE DE CARBON	DEMOSTRADOS	PROBABLES	POSIBLES	TOTALES
TUMBES	LIGNITO	---	1'000,000	100'000,000	101'000,000
PIÑIPATA	ANTRACITA	---	---	50'000,000	50'000,000
YANACANCHA	BITUMINOSO	---	---	25'000,000	25'000,000
CUPISNIQUE	ANTRACITA	---	---	24'000,000	24'000,000
ALTO CHICAMA	ANTRACITA	25'222,741	34'478,764	211'000,000	270'000,000
SANTA					
LA GALGADA	ANTRACITA	800,000	---	4'000,000	4'800,000
ANCOS	ANTRACITA	600,000	---	20'000,000	20'600,000
LA LIMEÑA	ANTRACITA	500,000	---	21'000,000	21'500,000
SAN CARLOS	---	---	---	2'000,000	2'000,000
BUENAVENTURA	ANTRACITA	18,000	15,000	15'300,000	15'000,000
TARICA	ANTRACITA	---	---	27'000,000	27'000,000
SIHUAS	ANTRACITA	---	---	27'000,000	27'000,000
CONCHUCOS	ANTRACITA	---	---	26'000,000	26'000,000
SAN MARCOS	ANTRACITA	---	---	25'000,000	25'000,000
HUALLANCA	ANTRACITA	40,000	3'000,000	25'000,000	28'000,000
GOYLLARISQUIZGA	SUB-BITUMINOSO	1'521,000	900,000	5'000,000	7'421,000
PILLAO	SUB-BITUMINOSO	12,000	---	2'000,000	2'012,000
YANAHUANCA	SEMI-ANTRACITA	4,000	20,000	500,000	524,000
QUISHUARCANCHA	SUB-BITUMINOSO	20,000	15,000	2'000,000	2'035,000
SAQUICOCHA	SUB-BITUMINOSO	---	---	1'800,000	1'800,000
COCHAQUILLO	ANTRACITA	---	---	20'250,000	20'000,000
GAZUNA	ANTRACITA	---	26'000,000	82'000,000	108'000,000
PARQUIN	ANTRACITA	---	---	4'000,000	4'000,000
PAMPAHUAY	BITUMINOSO	---	10'000,000	24'000,000	34'000,000

Continúa Cuadro N° 2.3.2

DEPOSITO	CLASE DE CARBON	DEMOSTRADOS	PROBABLES	POSIBLES	TOTALES
OYON					
SAQUICOCHA	SUB-BITUMINOSO	---	---	1'800,000	1'800,000
COCHAQUILLO	ANTRACITA	---	---	20'250,000	20'000,000
GAZUNA	ANTRACITA	---	26'000,000	82'000,000	108'000,000
PARQUIN	ANTRACITA	---	---	4'000,000	4'000,000
PAMPAHUAY	BITUMINOSO	---	10'000,000	24'000,000	34'000,000
JATUNHUASI					
CELICA NEGRO BUENO	SUB-BITUMINOSO	703,000	---	30'000,000	30'703,000
CACHINYS	SUB-BITUMINOSO	165,000	135,000	30'000,000	30'300,000
CHONGOS ALTO					
AMELIA	SUB-BITUMINOSO	---	---	1'500,000	1'500,000
ZEPELIN	SUB-BITUMINOSO	---	---	800,000	800,000
CARUMAS	SEMI-ANTRACITA	---	---	3'000,000	3'000,000
		29'605,741	75'563,764	808'050,000	914'519,505

2.3.3. Reservas por clases y tipos de carbón

CLASE	PROBADOS	PROBABLES	POSIBLES	TOTALES
LIGNITO	---	1'000,000	100'000,000	101'000,000
BITUMINOSO	2'421,000	11'050,000	122'100,000	135'571,000
ANTRACITA	27'184,741	63'513,764	586'750,000	677'748,505

TIPO : (BITUMINOSO Y SUB-BITUMINOSO)

COQUIZABLE	2'256,000	10'915,000	64'800,000	77'971,000
NO-COQUIZABLE	165,000	135,000	57'300,000	57'600,000
T O T A L :	2'421,000	<u>11'050,000</u>	122'100,000	135'571,000

2.4. CARACTERISTICAS DE LOS CARBONES PERUANOS DEL ALTO CHICAMA Y DE ALGUNOS CARBONES DEL MUNDO

2.4.1. Algunos valores de análisis físico-químico de los carbones peruanos

YACIMIENTO	CAPAS	HUMEDAD (%)	CARBON FIJO (%)	MATERIA VO-LATIL (%)	CENIZA (%)	AZUFRE (%)	VALOR CALORIFICO Kcal/Kg	INDICE DE INCHAMIENTO
TUMBES	4	13.5	25.0	29.0	28.0	5.0	3,500	0
CUPISNIQUE	3	5.0	75.0	6.0	10.0	0.6	6,750	0
PIÑIPATA	5	4.3	68.4	5.7	20.7	---	7,000	0
YANACANCHA	-	10.0	45.0	29.0	11.0	1.5	7,000	0
ALTO CHICAMA	10	8.5	70.5	2.4	20.0	1.89	6,846	0
SANTA								
LA GALGADA	6	4.0	84.0	5.75	9.0	0.75	6,750	0
LA LIMEÑA	5	4.5	70.0	5.0	14.0	0.70	6,250	0
SAN CARLOS	6	4.5	82.5	3.5	9.5	0.6	6,750	0
BUENAVENTURA	1	4.5	85.0	3.5	8.5	0.8	6,750	0
TARICA-SIHUAS	2	5.5	--	5.0	10.0	--	6,650	0
GOYLLARISQUIZCA	4	--	45.0	27.0	31.0	3.0	6,100	3-7
QUISHUARCANCHA	2	--	22.8	29.3	47.8	2.8	3,500	
OYON								
PAMPAHUAY	5	6.0	70.0	19.0	9.0	0.75	7,300	2.5-9.0
GAZUNA	5	6.0	77.5	10.0	7.5	0.75	7,300	0
JATUNHUASI								
CELICA NEGRO BUENO	4	8.0	47.5	35.5	12.5	1.55	6,500	3.5-7.0
CACHINYS	4	5.5	47.7	29.3	23.0	6.0	6,500	1.0-1.5
CHONGOS ALTOS								
AMELIA	3	--	44.5	32.1	23.9	1.5	5,060	-
ZEPELIN	2	--	44.4	35.4	20.4	0.6	5,380	-
CARUMAS	3	4.0	62.0	23.5	4.0	--	--	0

2.4.2. ANALISIS INMEDIATOS REGISTRADOS DE MUESTRAS DE CARBON DEL ALTO CHICAMA DEL DPTO. DE LA LIBERTAD

NUMERO MUESTRAS	AGUA %	MATERIA VO-LATIL %	CARBON FIJO %	CENIZA %	PODER CALORIFICO Kcal/Kg	AZUFRE %
16	8.36	4.04	70.80	16.80	6050	1.7

2.4.3. CARACTERISTICAS DE CARBONES PERUANOS EN COMPARACION CON ALGUNOS CARBONES DEL MUNDO

PAIS	CENIZAS	MATERIA VOLATIL	% EN PESO		HUMEDAD	VALOR CALORIFICO	
			20-35	50-60		Btu/Lb	Kcal/Kg
AUSTRALIA	7-14	20-35	0.3-0.8	1-3	11,000-12,500	6,105-6,940	
SUDAFRICA	20-32	50-60	0.5-2.0	11-30	10,000-13,000	5,550-7,215	
CANADA	8-20	20-35	0.3-0.8	6-8	11,500-14,000	6,382-7,770	
COLOMBIA	8.5		0.6	9.3	11,800	6,549	

YACIMIENTOS DE CARBONES PERUANOS

ALTO CHICAMA	6-10	2-4	0.5-3.0	4-6	12,615-13,500	7,000-7,500
JATUNHUASI	9-16	34-37	0.6-2.5	5-6	10,800-12,615	6,000-7,000
OYON	6-12	16-22	0.5-1.0	6	12,615-13,700	7,000-7,600
DEL SANTA	6-12	5.6.5	0.5-1.0	4	10,800-13,500	6,000-7,500

2.5. CARBONES ADECUADOS A CADA USO

El empleo que cualquier industria dé a los carbones existentes en nuestro país estaría definido por el reconocimiento previo de su composición química y propiedades físicas.

En el sector electricidad, para producir energía eléctrica, el carbón más adecuado puede ser la antracita, porque contiene elevada proporción de carbón fijo que es la fuente de calor y de material volátil que va a ayudar a producir la energía calorífica. Igualmente los carbones sub-bituminosos de alto poder calorífico que no tengan elevada proporción de humedad, podrían ser utilizados en este sector.

En el sector minero, los más adecuados resultan bituminosos, por su carácter aglomerante, es decir, por la propiedad que tienen de poder ser transformados a coke en sus dos variantes, coke siderúrgico para producción de acero y coke metalúrgico para emplear en las fundiciones, por ejemplo como aglomerante del plomo. La antracita también presenta muchas posibilidades de ser utilizada en este sector para la elaboración de hierro-esponja, tostación de pellets, etc.

En la industria de cemento casi no hay restricciones con respecto al tipo de carbón que puede ser usado en los hornos, se podría quemar cualquier tipo de carbón.

El uso de carbones en otras industrias dependerá - en gran medida del contenido de impurezas que podrían ser perjudiciales, tanto para el producto final como a los equipos en donde la combustión puede formar ácidos muy corrosivos.

2.6. USOS INMEDIATOS Y POSIBLES DEL CARBON EN EL PAIS

2.6.1. Mercado doméstico

Para sustituir al kerosene ofreciendo un combustible alternativo, sencillo de usar y de bajo precio.

Esto se logra mediante la fabricación de bridgetas de tecnología ya conocida y utilizada en pequeña escala en nuestro medio, ahorrando de esta manera los 60 a 80 millones de dólares que el gobierno - gasta para subsidiar el precio del kerosene, al año.

2.6.2. Mercado energético

En el momento presente en que el Perú se - ve obligado a paralizar o posponer la ejecución de los grandes proyectos hidroeléctricos por la limi-

tada disponibilidad y el alto costo de los recursos financieros, así como la imposibilidad del Perú para endeudarse; el carbón constituye una alternativa viable y disponible para posibilitar la instalación de centrales térmicas de tamaño mini 5 a 10 MW y medianas de hasta 50 MW, a lo largo del territorio nacional.

Esta alternativa tiene la ventaja que las centrales térmicas a carbón requieren de plazos de ejecución mucho más cortos, inversión inicial bastante menor y costo del KW-Hr producido por debajo de lo que cuesta en el caso de las centrales térmicas a vapor. Adicionalmente, en la actualidad se disponen a nivel internacional de variadas tecnologías, ampliamente probadas.

2.6.3. Mercado industrial

Este segmento del mercado ofrece excelentes posibilidades. Precisamente han sido los industriales peruanos, caso de "Ladrillera Huachipa", "Ladrillera Rey", "Procesos Cerámicos" y otros, primeros en comprobar el ahorro y beneficio económico que conlleva la utilización del carbón peruano.

Este ejemplo y los resultados inmediatos no han pasado desapercibidos para otras industrias, que co

mo el caso de Sociedad Paramonga Ltda., Lima Caucho, Rayón y Celanese, Cementos Yura, Cementos Lima, Cementos Andinos, Agregados Calcáreos S.A. y algunos otros, ya culminaron sus estudios económicos y el desarrollo de la ingeniería que les permita cambiar su sistema de combustión de petróleo a carbón.

2.7. INDUSTRIAS DE SUSTITUCION FACTIBLE

La sustitución del petróleo por carbón como combustible industrial conlleva a ciertos cambios técnicos, tanto en el equipo de combustión como en la zona de recepción y almacenamiento del combustible. En algunos casos sería necesaria la instalación de una planta de pretratamiento del carbón - para lograr el tamaño y calidad adecuada.

Las cenizas que el carbón deja como residuo después de la combustión y la presencia de azufre en los gases de combustión, son las mayores dificultades que hay que vencer para lograr el cambio.

Las calderas petroleras presentan mayores dificultades para su adaptación al carbón, en la mayoría de los casos se requiere el diseño de nuevas unidades. En las calderas de las cooperativas azucareras es más factible la adaptación al carbón, por

cuanto estas unidades están diseñadas para quemar combustible sólido como es el bagazo.

2.7.1. Industria ladrillera

Existen diversas formas para el uso del carbón en la industria ladrillera y puede ser inyectado en forma pulverizada a través de los quemadores del horno, puede ser colocado en capas intermedias, entre los ladrillos, o puede ser mezclado con crudo (material base del ladrillo).

2.7.2. Industria del cemento

El carbón se inyecta en los hornos rotativos en forma pulverizada, el carbón más adecuado es el bituminoso de bajo volátil (mínimo porcentaje de volátil es 18%) con un contenido moderado de cenizas y una variación mínima de su composición.

También podría utilizarse un equipo de combustión con quemador mixto, mediante el cual se puede inyectar petróleo y carbón en forma alternativa o simultánea, esta técnica permite mayor flexibilidad en cuanto a la clase de carbón elegido, pudiendo permitir el uso de antracita.

2.7.3. Cooperativas Azucareras e Industria de Papel

La sustitución del petróleo en las calderas de estos sectores, requieren un estudio técnico y económico para cada caso específico.

En algunas Cooperativas Azucareras como las Cooperativas Cartavio y Laredo se han efectuado la implementación y algunas modificaciones de algunas de sus calderas para quemar carbón antracita.

Del mismo modo, Sociedad Paramonga Ltda. S.A. ha efectuado el estudio técnico y económico para adquirir una moderna unidad generadora de vapor de lecho fluidizado circulante que sería instalado en la Fábrica Trupal y usaría como combustible el carbón antracita del Alto Chicama.

Sin embargo, los estudios económicos actualizados determinan que aún no es viable económicamente el proyecto con los actuales precios del petróleo, conjuntamente bajo y subsidiado además.

2.8. PRECIOS DEL CARBON

Debido a que la explotación del carbón en el país se realiza casi en forma artesanal y la falta de mecanismo para su comercialización, los precios actuales del carbón son fijados en forma arbitraria

por los productores, elevándose excesivamente, que en algunos casos, los precios locales han superado los precios CIF vigentes en el mercado internacional.

PRECIOS PROMEDIOS INTERNACIONALES

AÑO	US\$/Ton(CIF)
1973	26.05
1974	31.90
1976	63.43
1981	85.67
1986	93.30

PRECIOS DEL CARBON OFRECIDOS POR CEDEMIN

TIPO	TAMAÑO	US\$/Ton
Carbón para fundición	Más de 4"	90-150
Carbón para calderas	1"-4"	60-65
Carbón fino	Menos de 1"	45-60

Sin embargo, los mayores consumidores controlan sus precios por medio de contratos anuales, en los que fijan precios para el carbón más próximo a su valor real. Por ejemplo, SIDERPERU paga US\$.55/Ton de carbón, lo que constituye un precio más o menos justo, si se tiene en cuenta que los costos del carbón en el país están alrededor de US\$.20/Ton.

CAPITULO 3

SÍNTESIS DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA, DEMANDA DE ENERGÍA Y REQUERIMIENTOS DE COMBUSTIBLE EN LOS SECTORES PAPELERO Y AZUCARERO DEL DPTO. DE LA LIBERTAD

3.1. GENERALIDADES

Los sectores productivos con mayores posibilidades de uso del carbón antracita del Alto Chicama, como combustible alternativo, son las Cooperativas Azucareras y la Industria Papelera Trupal. Industrias que se concibieron como una vía de desarrollo económico y una solida justificación social del Dpto. de La Libertad.

Desde el punto de vista social-económico, hasta el año 1968, estos complejos fueron de propiedad privada, de dueños y capitales extranjeros, que con la promulgación de la Ley de Reforma Agraria, el sector azucarero paso a constituirse como empresas autogestionarias, actuales cooperativas agrarias azucareras y el sector papelerero, pasaron a formar parte de las empresas estratégicas del estado peruano como Complejo Papelerero Químico Sociedad Paramonga Ltda. S.A.

3.1.1. Fabricación de papel

La fabricación de papel de bagazo es el resultado de muchos años de investigación, efectuados por la W. R. Grace & Company, cuyo éxito se logró en el Perú por el entonces Complejo Azucarero Cartavio, de propiedad de la Compañía Grace. Para llevar este éxito al terreno comercial, la misma compañía Grace, concibió el Complejo Papelero Azucarero Paramonga, con el proceso de fabricación de papel de bagazo que fué patentado con el proceso PEADCO, como una subsidiaria de la W.R. Grace y Compañía.

En la actualidad existen fábricas de papel de bagazo en la Argentina, Colombia, Puerto Rico, Filipinas, Lusiana, España y la India, que utilizan el mismo proceso PEADCO el que se usa en el Perú, en el actual Complejo Papelero Químico Sociedad Paramonga Ltda. S.A. con 6 máquinas papeleras en Paramonga y 2 en Trupal y que además han recibido el encargo del estado peruano, la administración de otras empresas papeleras, tales como: Compañía Celulósica y Papelera del Norte S.A. (Cayalti) Papelera Pucallpa (Pucallpa) y Papelera Peruana (Chosica).

En el mundo, la mayor producción de papel se hace

de pulpa de madera (recursos fibrosos madera) y en menor proporción de pulpa de bagazo, paja de arroz, bambú, sorgo, etc. (recursos fibrosos no-madera).

Por otro lado, la obtención de pulpa para la fabricación de papel en el mundo, se hace bajo los siguientes procesos : 78% proceso kraft (o sulfato) 21% proceso sulfito y 1% proceso soda y otros procesos.

En Sociedad Paramonga se hace la pulpa semi-química que es una combinación del proceso soda y proceso mecánico. Se han ensayado también otros procesos, tales como la pulpa termomecánica.

3.1.2. Fabricación de azúcar

La fabricación y refinación de azúcar posee un historial lleno de triunfos y realizaciones en los campos de producción de alimentos y la tecnología azucarera, desde los trapiches movidos por tracción animal, fuerza hidráulica, hasta los actuales modernos y colosales complejos con trapiches y/o difusores accionados por eficientes turbinas a vapor o motores eléctricos totalmente automatizados.

En el país existen 12 complejos azucareros que es

tán ubicados en las siguientes zonas :

ZONA : NORTE (LAMBAYEQUE)

CAA Tumán
CAA Pomalca
CAA Pucalá
CAA Cayaltí

ZONA : NORTE-CENTRO (LA LIBERTAD)

CAA Casagrande
CAA Cartavio
CAA Laredo

ZONA : CENTRO (LIMA)

CAA Paramonga
CAA Andahuasi
CAA Ingenio

ZONA : SUR (AREQUIPA)

CAA Chucarapi

ZONA : ORIENTE (IQUITOS)

Azucar Selva (en proyecto)

3.2. PRODUCCION DE PAPEL EN SOCIEDAD PARAMONGA LTDA.

FCA. TRUPAL : MAQUINAS PAPELERA PPX-7 y PPX-8

MAQUINA PAPELERA PPX-7 : Papel de embalaje y envolturas.

1. Capacidad instalada:

Producción anual máquina: 80,000 Tns AD/año
diaria máquina: 240 Tons AD/día

Producción diaria de pulpa: 210 Tons BD/día
 fibra consumida: 840 Tons AD/día
 soda consumida: 35 Tons/día (100%)

Capacidad de Hidrapulper:

Pulpa importada y desperdicios: 110 Tons AD/
 día

Servicios Auxiliares:

Vapor 7'200,000 Lbs/día (3 calderas de 100,000
 Lbs/Hr, 600 Psig. 700°F)

Electricidad: 360,000 KW-Hr/día (turbogenera-
 dor de 15 MW)

Agua : 14'400,000 galones/día

2. Datos de la máquina:

Gramaje : 70-350 grs/m²

Velocidad : 76-460 m/seg

Ancho : 5500 mm tela y 5000 mm hoja

Formulación:

Pulpa de bagazo	: 60%
Pulpa Kraft (importada):	24%
Desperdicios	: 13%
Productos químicos	: 3%

**MAQUINA PAPELERA PPX-8 : Papel periódico y obra pa
 ra revistas**

1. Capacidad instalada:

Producción anual máquina: 110,000 Tons AD/año
 diaria máquina: 392 Tons AD/día

Producción diaria planta de pulpa: 300 Tons BD
 /día

fibra consumida: 1200 Tons AD/día
 soda consumida: 50 Tons/día

Capacidad de Hidrapulper:

Pulpa importada y desperdicios: 150 tons AD/
día

Servicios Auxiliares:

Vapor: 7'680,000 lbs/hr (2 calderas de 160,000
lbs/hr, 600 Psig, 700°F)

Electricidad: 4'080,000 KW-hr/día (contratada
de Hidrandina 17 MW)

2 Datos de la máquina:

Gramaje : 49-60 grs/m²

Velocidad: 450-1000 m/seg

Ancho : 8500 mm tela y 7500 mm hoja

Formulación: bagazo 61%

pulpa kraft (importada) 15%

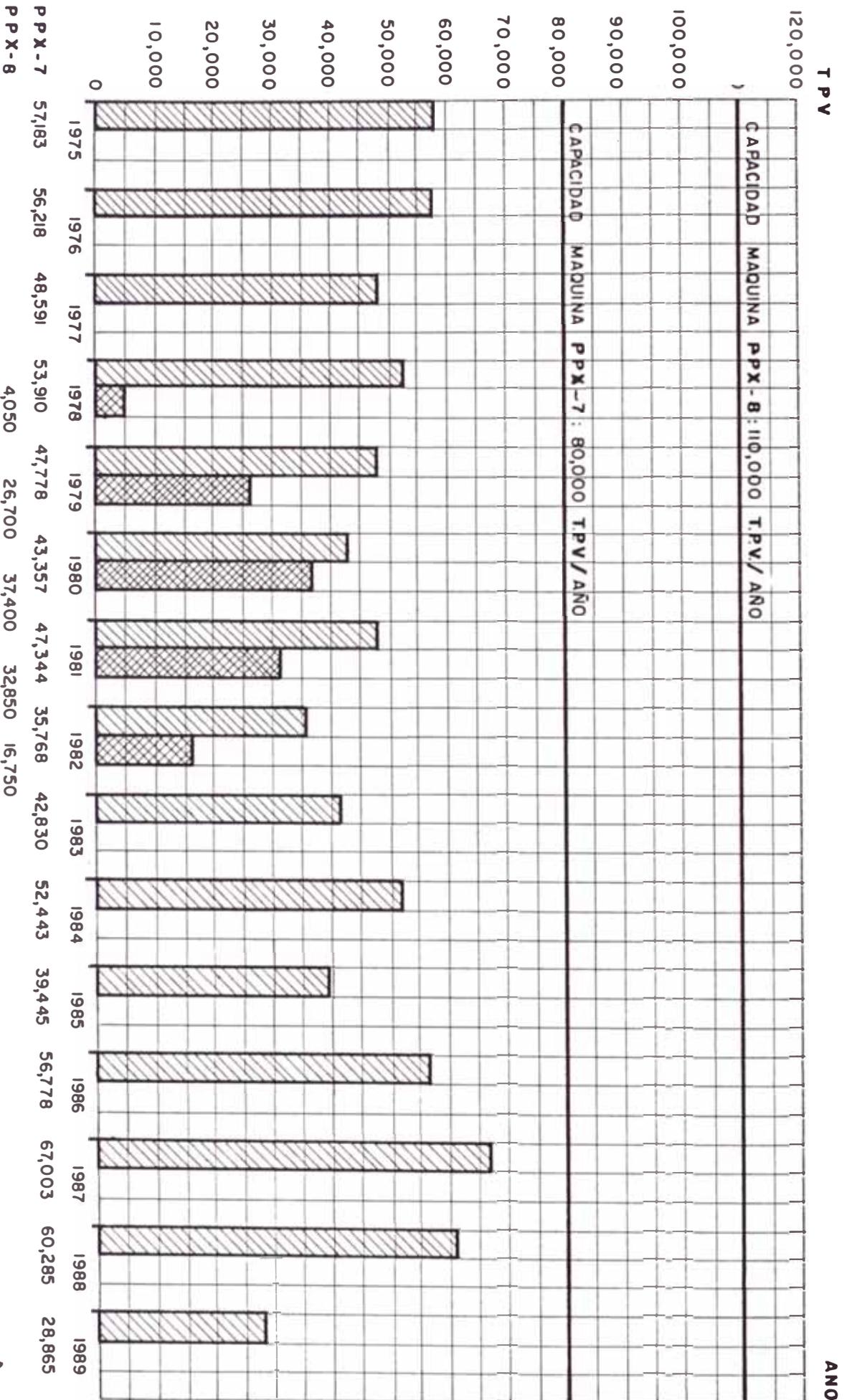
pulpa mecánica (importada) 4%

desperdicios 13%

productos químicos 7%

PRODUCCION DE PAPEL : Toneladas métricas

AÑO	MAQUINA PPX-7	MAQUINA PPX-8
1975	52,183	
1976	56,218	
1977	48,591	
1978	53,910	4,050 (Agosto)
1979	47,778	26,700
1980	43,357	37,400
1981	47,344	32,850
1982	35,768	16,750 (Julio)
1983	42,830	
1984	52,443	
1985	39,445	
1986	56,778	
1987	67,003	
1988	60,285	
1989	28,865	



3.2.1. Consumo de bagazo como materia prima en la fabricación de papel: Máquinas Papeleras PPX-7 y PPX-8

El consumo de pulpa de bagazo depende del tipo de papel que se fabrique: cartón corrugar, liner y clupak en la máquina PPX-7 o papel periódico en la máquina PPX-8.

Para cada máquina se tiene una formulación referencial, sobre las cuales se ajustan los porcentajes, de acuerdo al control técnico del tipo de papel que se está corriendo.

FORMULACION BASE	MAQUINA PPX-7	MAQUINA PPX-8
Pulpa de bagazo	60%	61%
Pulpa Kraft	24%	4%
Pulpa mecánica	-	12%
Desperdicios	13%	13%
Productos químicos	3%	7%

La preparación de bagazo a pulpa es en promedio de 4:1, luego se requiere cuatro toneladas de bagazo seco para fabricar una tonelada de pulpa. El bagazo procedente de las CAA's tienen un 50% de humedad.



Para una producción de 240 T.P.V/día se requiere:

$$0.6 \times 240 = 144 \text{ ton.pulpa/día}$$

$$0.6 \times 240 \times 4 = 574 \text{ ton.bagazo seco/día}$$

$$0.6 \times 240 \times 4/0.5 = 1152 \text{ ton.bagazo húmedo/día}$$

Para una producción de 80,000 Tons. de papel vendible/año en la máquina PPX-7, el consumo de bagazo seria :

$$80,000 \times 0.60 \times 4/0.5 = 480,000 \text{ TM-bagazo/año}$$

Para una producción de 110,00 Tons. de papel vendible/año en la máquina PPX-8, el consumo de bagazo sera :

$$110,000 \times 0.6 \times 4/0.5 = 528,000 \text{ Tons.bagazo/año}$$

La producción media de papel vendible en la máquina PPX-7, en los últimos 15 años es de 50,000 Tons/año, luego el consumo promedio de bagazo es de :

$$50,000 \times 0.6 \times 4/0.5 = 240,000 \text{ Tons.bagazo/año}$$

3.2.2. Demanda de energía y consumo de combustible en las máquinas papeleras PPX-7 y PPX-8

MAQUINA PAPELERA PPX-7 : 240 T.P.V/día

La capacidad térmica instalada para cubrir la demanda de energía en la máquina papeleras, es de - 300,000 lbs/hr (3 calderas de 100,000 lbs/hr, 600 Psig, 700°F) y un turbogenerador de 15 MW (extracción de 150 Psig y condensación a 2" HgA).

El consumo de vapor de 150 Psig - 380°F en la máquina PPX-7 depende del tipo de papel que se esté corriendo: CARTON CORRUGAR (71,000 lbs/hr), LINER (90,000 lbs/hr) y CLUPAK (50,000 lbs/hr), el consumo en Planta de Pulpa es de 25,000 lbs/hr. para cualquier tipo de pulpa. Además se consume vapor en calentadores de petróleo y productos químicos (5,000 lbs/hr).

Todo el vapor para procesos es de extracción del turbogenerador, que además tiene que extraer mas vapor para el desareador-calentador directo y el calentador indirecto de alta presión, para mejorar la eficiencia térmica del ciclo. El vapor de extracción de 150 Psig para procesos tiene que ser desupercalentado a 380°F.

El consumo de energía eléctrica en la máquina papera PPX-7 es en promedio de 9,000 KW-hr/hr, el cual también varía de acuerdo al tipo de papel que se esté corriendo. Cuando esta demanda de energía eléctrica es cubierta con el turbogenerador, el consumo propio en los auxiliares de la planta de fuerza es 7% de la generación total, pero también existe la alternativa de comprar toda la energía eléctrica de Hidrandina (sistema interconectado Norte-Centro), cuya selección resulta de la comparación del costo del KW-Hr de la ener-

gía generada y energía comprada, las mismas que dependen del costo del petróleo residual y la tarifa eléctrica.

El total de energía eléctrica generada es :

$$9,000/0,93 = 9,700 \text{ KW}$$

Vapor para procesos: extracción de 150 Psig. Desu
percalentado a 380°F - 1,204
Btu/lb

Máquina	70,000 lbs/hr
Pulpa	25,000
Calentador petróleo	4,000
Productos químicos	1,000
	100,000 lbs/hr

Agua de 332°F - 300 Btu/lb para desupercalentador:
100,000 lbs/hr de vapor de 450°F a 380 °F

$$100,000 \frac{(1250 - 1204)}{1250 - 300} = 5,000 \text{ lbs/hr}$$

Vapor de extracción para procesos: 100,000 - 5,000
= 95,000 lbs/hr.

Vapor de extracción para el calentador indirecto -
de alta presión es 16,000 lbs/hr y para el calentad
dor directo-desareador es de 22,000 lbs/hr.

Total vapor de extracción : 16,000 + 22,000 +
95,000 = 133,000 lbs/
hr

Para una extracción de 133,000 lbs/hr y 9,700 de
generación eléctrica, el consumo total de vapor en
el turbogenerador es de 200,000 lbs/hr (carta de

comportamiento del turbogenerador).

El consumo específico de vapor para generar 9,700

$$\text{KW es : } \frac{200,000 \text{ lbs/hr}}{9,700 \text{ KW}} = 21 \text{ lbs/KW-hr}$$

El consumo específico de calor :

$$\frac{200,000(1,350 - 300) - 100,000(1,204 - 98)}{9,700} = 10,250 \text{ Btu/KW-hr}$$

Eficiencia térmica de generación :

$$3413/10,250 = 33\%$$

El total de vapor generado: $203,500 + 3\% = 210,000$
lbs/hr

Poder calorífico del petróleo: 148,000 Btu/lb

Eficiencia de la caldera : 80%

Energía útil entregada por el combustible :

$$148,000 \text{ Btu/lb} \times 0.8 = 118,400 \text{ Btu/galón}$$

Energía requerida para la caldera :

$$1,350 - 300 = 1,050 \text{ Btu/lb}$$

El consumo específico de petróleo para la generación de vapor :

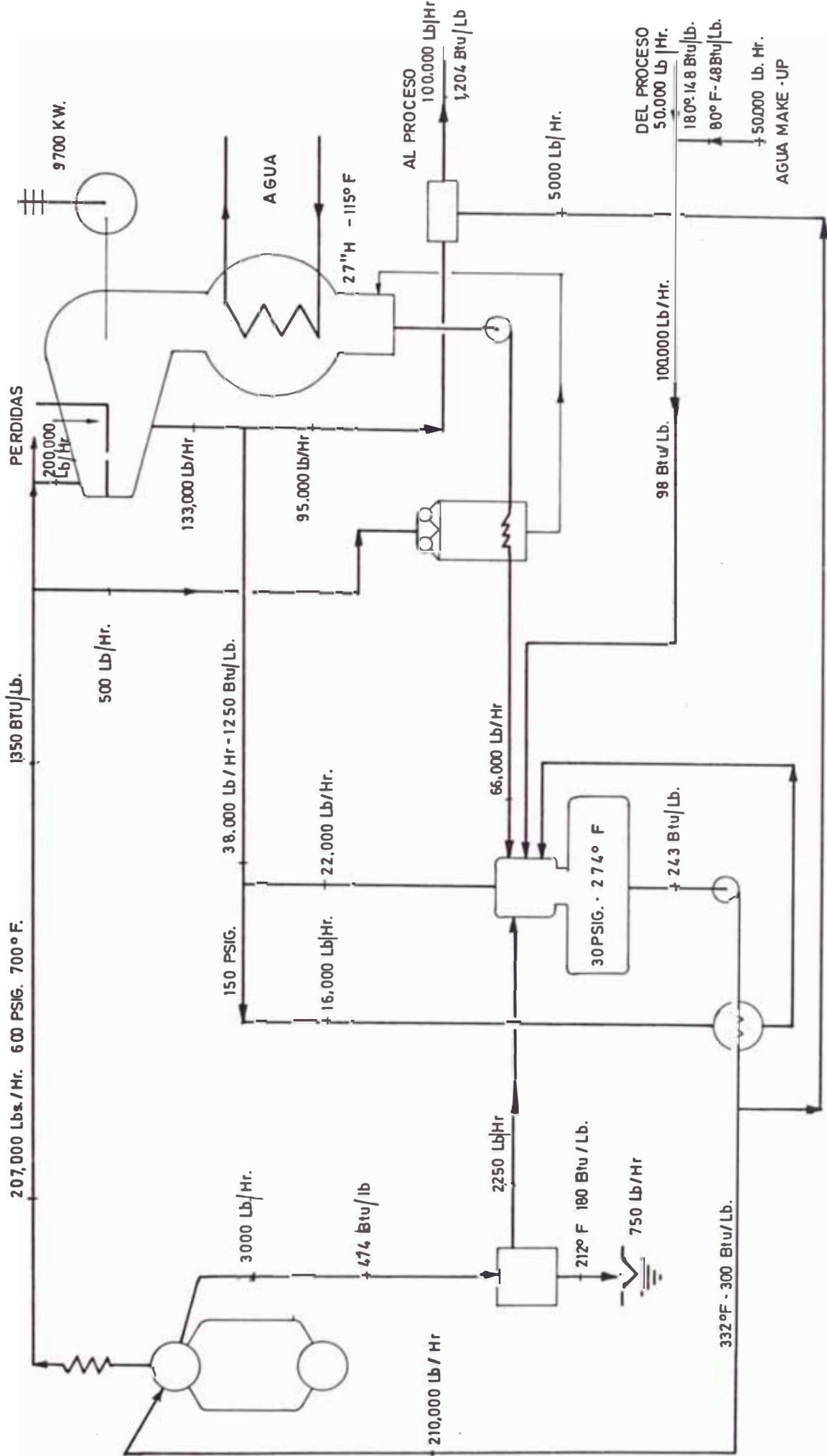
$$\frac{118,000 \text{ Btu/galón}}{1,050 \text{ Btu/lb}} = 113 \frac{\text{lbs. vapor}}{\text{galón. petróleo}}$$

El consumo horario de petróleo :

$$\frac{210,000 \text{ lbs/hr}}{113 \text{ lbs/gl}} = 1,850 \text{ galón/hr}$$

Consumo diario de petróleo: $1850 \times 24 = 44,500$ galones/día

GENERACION COMBINADA : 9,700 KW y 100,000 LB HR PARA PROCESOS (150 PSIG-380° F)



Consumo específico de petróleo :

$$\frac{44,500 \text{ gls/día}}{240 \text{ TPV/día}} = 185 \frac{\text{gls petróleo}}{\text{T.P.V.}}$$

Consumo específico de electricidad :

$$\frac{9,700 \times 24}{240} = 970 \text{ KW-hr/T.P.V.}$$

Consumo específico de petróleo para la generación combinada :

$$\frac{10,250 \text{ Btu/Kw-hr}}{118,400 \text{ Btu/galón}} = 0.087 \frac{\text{galones}}{\text{KW-hr}}$$

Consumo de petróleo para generación eléctrica :

$$0.087 \frac{\text{galón}}{\text{KW-hr}} \times 9,700 \text{ KW} = 845 \text{ gls/hr}$$

Consumo de petróleo para procesos: 1,850 - 845 = 1,005 galones/hr.

Consumo de petróleo :

Generación eléctrica: 845 gls/hr 36%

Vapor para procesos : 1,005 gls/hr 54%

Consumo de energía :

$$\text{Eléctrica : } \frac{845 \times 148,000 \times 0.8}{10} - 10.0 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V.}$$

$$\text{Térmica} \quad . \quad \frac{1,005 \times 148,000 \times 0.8}{10} = 11.84 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V.}$$

$$\text{Total : } 21.84 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V.}$$

Para la producción actual de 200 T.P.V/día, el consumo de petróleo es :

$$21.84 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}} \times 200 \frac{\text{TPV}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ galón petróleo}}{148,000 \text{ Btu} \times 0.8} =$$

$$37,000 \frac{\text{galones petróleo}}{\text{día}}$$

Para la producción anual de 50,000 T.P.V/año, el consumo de petróleo es :

$$21.84 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}} \times 50,000 \frac{\text{TPV}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ galón petróleo}}{148,000 \text{ Btu} \times 0.8} =$$

$$9'200,000 \text{ galones/año}$$

El consumo anual de petróleo para una producción de : 50,000 toneladas de papel vendible es :
9'200,000 galones de petróleo.

MAQUINA PPX-8 : 392 T.P.V/día

La capacidad térmica instalada para cubrir la demanda de energía térmica es de 320,000 lbs/hr (dos calderas de 160,000 lbs/hr, 600 Psig, 700°F) y una potencia eléctrica contratada de 17,000 KW.

El vapor de alta presión (600 Psig - 700°F) se utiliza solamente para el accionamiento de las bombas de vacío de la máquina papeleras. El vapor de escape de las turbobombas de vacío (65 Psig - 400°F), 16,000 lbs/hr es derivada para desareador-calentador de agua de alimentación de las calderas y los 84,000 lbs/hr, conjuntamente con los 2,000 lbs/hr de vapor reducida (600/65 Psig) es desupercalentado a 320°F con la adición de 4,000 lbs/hr de agua

a 274°F.

Vapor requerido para el proceso:

65 Psig - 320°F = 90,000 lbs/hr.

Máquina : 60,000 lbs/hr

Pulpa : 25,000 lbs/hr

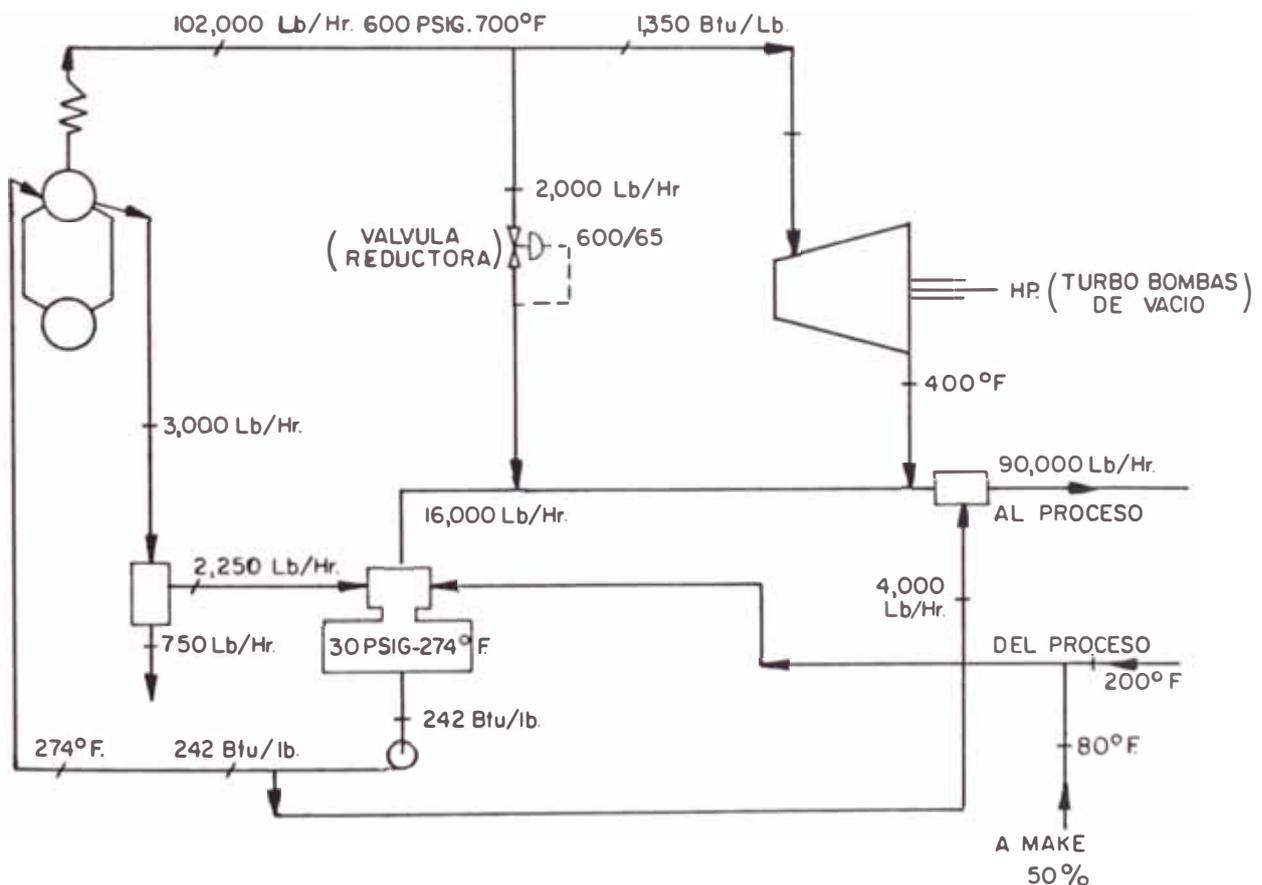
Calentador de petróleo
y productos químicos : 5,000 lbs/hr

90,000 lbs/hr

Energía requerida del combustible :

1350 - 242 = 1,108 Btu/lbs

Eficiencia de la caldera : 80%



Poder calorífico del petróleo : 148,000 Btu/gls

Energía útil del petróleo: 148,000 x 0.8 =
118,400 Btu/gls

Consumo específico de petróleo en las calderas :

$$\frac{118,400 \text{ Btu/galón}}{1,108 \text{ Btu/lb}} = 106 \text{ lbs/galón-petróleo}$$

Consumo horario :

$$\frac{105,000 \text{ lb/hr}}{106 \text{ lb/galón-petróleo}} = 990 \text{ galón/hr}$$

Demanda de energía térmica :

$$\frac{990 \text{ gal/hr} \times 148,000 \text{ Btu/galón} \times 0.8}{392 \text{ T.P.V./24 horas}}$$

$$7.2 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}}$$

Demanda de energía eléctrica : 10,000 KW

$$\left(\frac{10,000 \text{ Kw}}{392 \text{ TPV/24 hrs}} \right) = 650 \frac{\text{KW-hr}}{\text{T.P.V}} = 2.22 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{T.P.V}}$$

Con una eficiencia térmica de generación eléctrica del 30%, el consumo de energía térmica es :

$$2.22 \times 10^6 \text{ T.P.V./0.30} = 7.4 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V.}$$

Demanda total de energía:

$$\text{Térmica : } 7.2 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V}$$

$$\text{Eléctrica: } 7.4 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V}$$

$$14.6 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V}$$

Para una producción futura de 50,000 T.P.V/año con la Máquina PPX-8, el consumo de petróleo será :

$$14.6 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}} \times 50,000 \frac{\text{TPV}}{\text{año}} = 6'200,000 \text{ galón/año}$$

$$148,000 \text{ Btu/galón} \times 0.8$$

Consumo anual de petróleo : Fábrica Trupa1

PRODUCCION Ton/año	CONSUMO: GALONES/AÑO	
	PPX-7	PPX-8
50,000	9'200,000	6'200,000

3.3. PRODUCCION DE AZUCAR EN COOPERATIVAS AZUCARERAS DE LA LIBERTAD

En el lenguaje azucarero, la producción de azúcar está relacionado con el rendimiento de la caña de azúcar de la siguiente manera :

$$\text{rendimiento: } \frac{\text{Tons.azúcar cruda o comercial}}{\text{Tons caña molida}}$$

Este valor está alrededor del 10%, dependiendo de la calidad de la caña y la eficiencia del ingenio, en términos de extracción del jugo de caña y agotamiento de la meladura.

La capacidad de producción de azúcar en cualquier ingenio azucarero depende de su capacidad instalada de molienda y el área dedicada al cultivo de la caña de azúcar.

C.A.A.	CAPACIDAD MEDIA DE MOLIENDA DIARIA Tons.	AREA DEDICADA AL CULTIVO DE CAÑA Has.
Casagrande	8,500	22,799
Cartavio	5,000	13,833
Laredo	2,000	4,819

Todos los ingenios trabajan generalmente al 75% de su capacidad instalada, llegando hasta el 90% en los años buenos y 50% en los años malos; entendiéndose los términos, años buenos o malos, en función de las condiciones climatológicas favorables o desfavorables para el cultivo de caña de azúcar.

Por lo general estos ingenios trabajan una zafra - de 275 días/año y el resto de días del año se dedican al mantenimiento general del ingenio.

C.A.A.	TONS.CAÑA DIA	DIAS AÑO	TONS.CAÑA AÑO	TONS.AZUCAR AÑO
Casagrande	6000	275	1'650,000	165,000
Cartavio	3750	275	1'031,250	103,125
Laredo	1500	275	412,500	41,250

La estadística de molienda de caña y producción de azúcar en los últimos años, son :

CAA	C A R T A V I O			C A S A G R A N D E		
	TONS. CAÑA DIA	MOLIDA AÑO	AZUCAR PRO DUCIDA AÑO	TONS. CAÑA DIA	MOLIDA AÑO	AZUCAR PROD. AÑO
X 5A	4110	1'010,799	121,295			
1982	3786	938,559	110,749			
1983	3077	927,419	111,290			
1984	3147	952,433	112,387			
1985	3184	963,736	110,830	5990	1'797,727	197,750
1986	3109	893,426	100,063	5580	1'676,017	187,772
1987	2822	873,101	96,041	4203	1'261,058	132,411
1988	2362	729,344	76,582	4563	1'369,914	158,910
1989	2181	608,081	65,275	4723	1'417,940	164,481

3.3.1. Consumo de energía y potencial de producción de energía eléctrica en Centrales Azucareras

La industria azucarera reúne dos de las justificaciones más poderosas para autoabastecerse energéticamente, el uso de grandes cantidades de vapor a bajas presiones, de 12 a 20 Psig y la existencia de apreciables cantidades de bagazo, materia combustible.

La primera de estas características permite el aprovechamiento industrial del calor latente del vapor, que generalmente se rechaza con las termoelectricas de condensación, a través del agua de enfriamiento de los condensadores.

El aprovechamiento de la segunda cualidad, depende de los otros usos que pueda darse al bagazo, table ros, pulpa y papel y el costo y disponibilidad de los combustibles suplementarios, tales como el pe tróleo y carbón mineral.

El consumo de energía en un ingenio de azúcar está tipificado básicamente en dos rubros: energía para extracción del jugo de caña (trapiche) y energía - para calentamiento y cocimiento del jugo extraído de la caña (elaboración o procesos).

La demanda de vapor se calcula de un balance general de energía, pero para efectos de cálculos de proyectos, tomaremos los índices generales de los datos de producción y los niveles de generación - térmica más comunmente usados en cualquier ingenio azucarero.

1. Demanda de energía eléctrica promedio :

Trapiche (molinos eléctricos) : 18 KW.hr/tons.caña
 Resto : 12 KW.hr/tons.caña

2. Demanda de vapor :

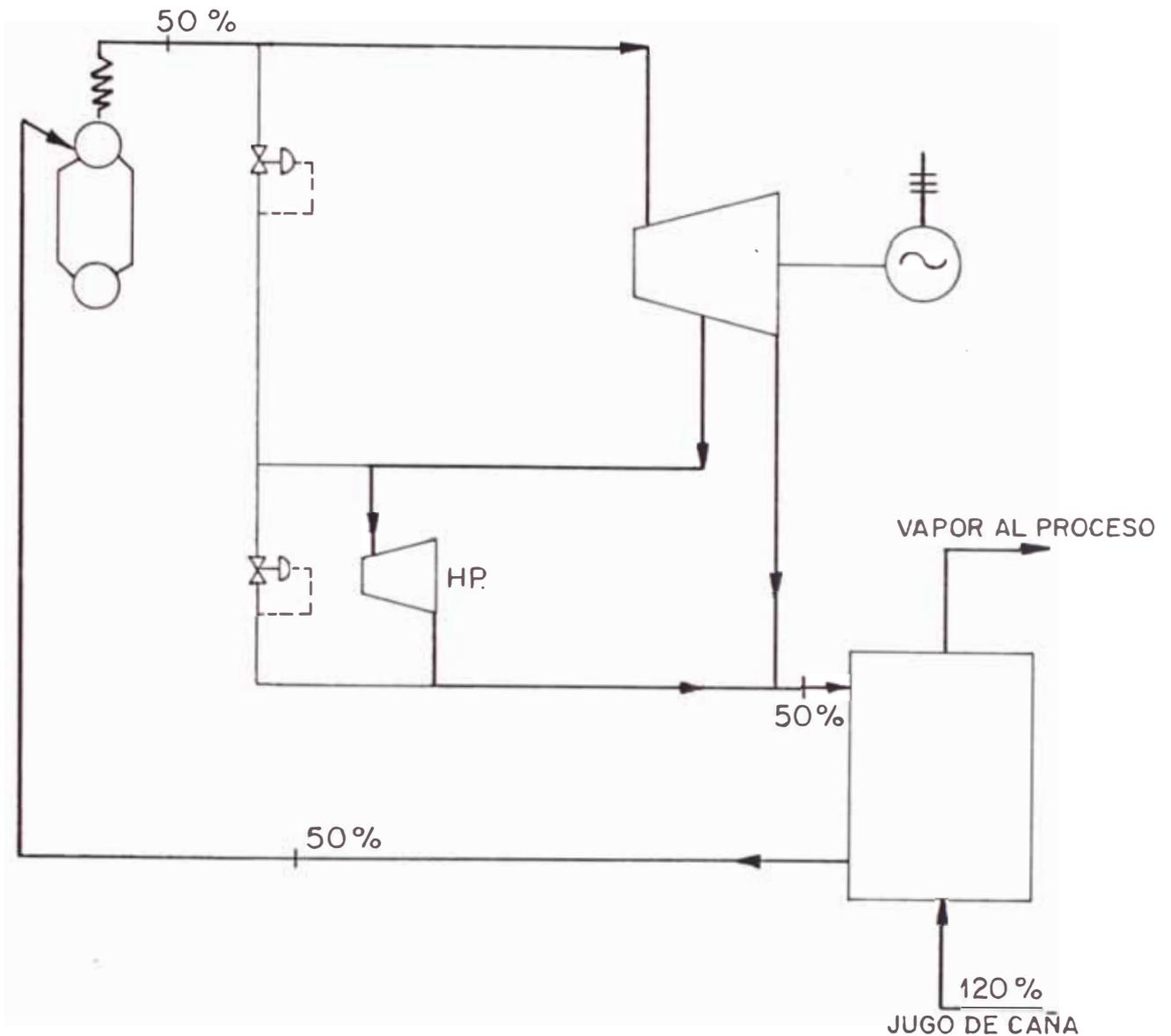
Vapor total = 0.5 tons.caña

3. Turboalternadores (T/A) : 600 Psig - 700°F

Caída de presión en la válvula de la turbina:
 10 Psig

- Eficiencia mecánica combinada del turboalternador : 0.94
 Eficiencia interna en la turbina de extracción contrapresión : 0.74
 Eficiencia interna en la turbina de contrapresión solamente : 0.78
 Eficiencia interna de la turbina de condensación solamente : 0.76
4. Turbinas para Molinos de trapiche :
- presión : 150 Psig - 465°F
 gasto : 34 lbs/HP-hr
- Consumo específico de potencia en molinos :
- $14 \frac{\text{HP-hr}}{\text{tons.caña}}$
5. Vapor tecnológico (elaboración o procesos) :
- presión : 20 Psig
 temperatura: 259°F
 entalpía : 1167 Btu/lbs
6. Agua de alimentación a calderas :
- temperatura: 242°F
 entalpía : 210 Btu/lbs
7. Eficiencia de las calderas con bagazo : 60%
8. Humedad del bagazo : 50%
9. Poder calorífico superior del bagazo seco:
8280 Btu/lbs
10. Porcentaje de bagazo en caña : 30%

CICLO BASICO SIMPLIFICADO



Para un ingenio de 5,000 tons.caña/día como la C. A.A. Cartavio con 20 horas de operación al día y un ritmo de molienda horaria de 250 tons.caña/ha.

Consumo de potencia en trapiche: $14 \frac{\text{HP-hr}}{\text{tons.caña}} \times$

$$250 \frac{\text{tons.caña}}{\text{Ha}} = 3500 \text{ HP}$$

$$= 2600 \text{ KW}$$

Consumo de energía eléctrica :

$$12 \frac{\text{KW.hr}}{\text{tons.cañ}} \times 250 \frac{\text{tons.caña}}{\text{Ha}} = 3000 \text{ KW}$$

Total potencia consumida: 5600 KW.

Consumo de vapor para proceso de elaboración de azúcar : 0.5 ton.caña.

Vapor para procesos :

$$0.5 \times 250 \frac{\text{tons.caña}}{\text{Hr}} = 125 \frac{\text{tons.vapor}}{\text{Hr}} = 275,000 \frac{\text{lbs}}{\text{hrs}}$$

Toda esta cantidad de vapor a pasado a través de las turbinas del trapiche y/o los turboalternadores, expandiéndose de 600 Psig a 20 Psig con un salto de entalpía de 1350 - 1200 = 100 Btu/lb.

Produce o genera el equivalente a :

$$\frac{100 \text{ Btu/lb} \times 275,000 \text{ lbs/hr}}{3413 \text{ Btu/KW-hr}} = 8000 \text{ KW}$$

Para trapiche: 2600 KW

Resto : 3000 KW

5600 KW

Generación adicional: 8000 - 5600 = 2400 KW

Consumo de bagazo :

- Poder calorífico del bagazo: 8280 x 0.5 = 4140 Btu/lb

- Eficiencia de la caldera con bagazo: 60%

- Energía requerida para las calderas :

$$1350 - 210 = 1140 \text{ Btu/lb.vapor}$$

Consumo específico de bagazo :

$$\frac{4140 \times 0.6}{1140} = 2 \frac{\text{lbs.vapor}}{\text{lbs.bagazo}}$$

Consumo de bagazo para generar 125 ton.vapor/hr :

$$\frac{125 \text{ ton.va or/hr}}{2 \text{ tn.vapor/tn.bagazo}} = 62.5 \text{ ton.bagazo/hr}$$

Producción de bagazo :

Bagazo % caña : 30%

$$250 \times 0.3 = 75 \text{ ton.bagazo/hr}$$

Excedente de bagazo: $75 - 62.5 = 12.5 \text{ ton.bagazo/hr}$

Producción de vapor con el excedente de bagazo :

$$12.5 \frac{\text{ton.bagazo}}{\text{Hr}} \times 2 \frac{\text{ton.vapor}}{\text{ton.bagazo}} = 25 \frac{\text{ton.vapor}}{\text{Hr}}$$

Energía eléctrica producida con turboalternadores a condensación de 3" Hg de vacío :

$$\frac{25 \times 2205 \text{ lb/hr}}{15 \text{ lbs/KW-hr}} = 3300 \text{ KW}$$

3.3.2. Interrelación insumo-combustible entre las Cooperativas Azucareras y la Industria Papelera-Trupal

El bagazo es materia prima básica para la industria papelera Trupal y combustible de la industria azucarera.

Trupal compra bagazo de las CAAs. Cartavio y Casagrande y paga con petróleo a un equivalente calórico más una utilidad a favor de los dueños -

del bagazo (46.62 galones/ton.bagazo + utilidad en galones de petróleo).

El medio de cambio insumo-combustible entre estas dos empresas, es el petróleo, en consecuencia, el nivel de desarrollo productivo de Trupal es en función del costo del petróleo.

El costo actual de petróleo (\$ 0.18/galón), permite pagar por bagazo hasta el doble del equivalente calórico en petróleo (92 galones de petróleo/ton. de bagazo), permitiendo así a Trupal cumplir con su presupuesto de producción de papel y a las Cooperativas mayor disponibilidad de combustible.

Con un costo real del petróleo (\$ 0.80/galón, precio internacional), se tendrá que pensar en otro combustible como medio de cambio (carbón antracita del Alto Chicama).

CAPITULO 4

CONSIDERACIONES TÉCNICAS-ENERGÉTICAS DEL CARBÓN, BAGAZO Y PETRÓLEO

4.1. ANALISIS APROXIMADO Y ANALISIS COMPLETO DEL CARBON COMPOSICION FISICA Y QUIMICA DEL BAGAZO Y COMPOSICION QUIMICA DEL PETROLEO.

Todo combustible mineral tiene como sus componentes, hidrógeno, carbón, oxígeno, nitrógeno, azufre y ciertos minerales incombustibles llamados cenizas. En efecto, el carbón es una sustancia muy variable y la clasificación en sus diferentes formas no ha sido muy fácil, en algunos sistemas de clasificación se trata de encontrar un sistema de variación común entre sus diferentes clases. Para inventar un sistema práctico, se tendría que eliminar la humedad y las cenizas, porque éstas no siguen ninguna ley en el carbón, la presencia en el carbón, tal como se encuentra en el estorage ó listo para quemarse ó como se recibe en el laboratorio, tanto la humedad como la ceniza, da lugar a ciertas variaciones en el análisis de los componentes :

Estas variaciones son :

- a) Como se recibe
- b) Secado al aire
- c) Carbón libre de humedad
- d) Carbón libre de humedad y cenizas (carbón libre de humedad y sustancias minerales).

El carbón libre de humedad y cenizas (sustancia hipotética) se le llama combustible, ya que representa la porción de la muestra original que se gasifica durante la combustión.

Basándose en la composición de carbón hipotético - "libre de humedad y cenizas", se han propuesto varios sistemas para la clasificación de los diferentes grados o categorías (especificaciones ASTM).

Los ingenieros encargados de la combustión usan dos formas de análisis del carbón, el análisis aproximado y el análisis completo.

ANALISIS APROXIMADO

Se separa el carbón en :

- Humedad
- Materia volátil
- Carbón fijo
- Cenizas

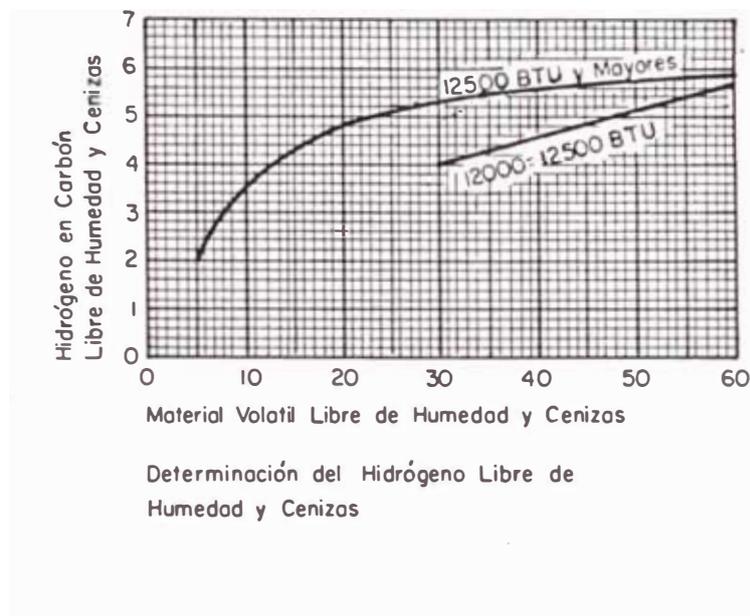
Este análisis se hace fácilmente por medios térmicos y está dentro de la capacidad técnica de cualquier ingeniero mecánico de poder de poderlo efectuar.

tuar. La adición de un análisis del contenido de azufre ayudará para valorizar sus características de quemado.

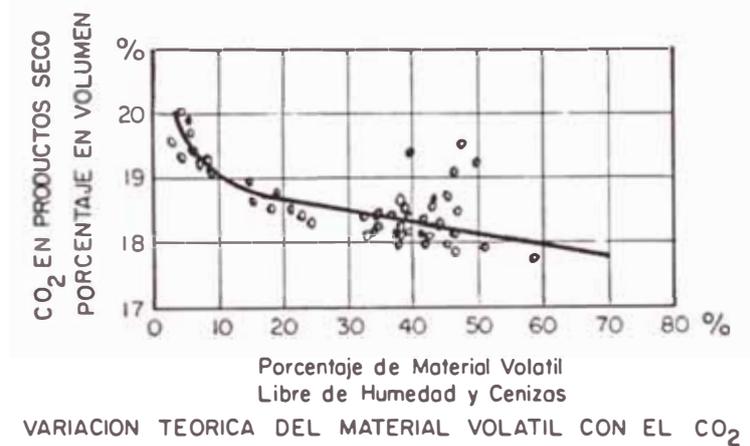
- El contenido de humedad se obtiene por la pérdida de peso de una muestra llevada a 212°F y mantenida por una hora.
- El material volátil se obtiene por la pérdida de peso de la muestra sin humedad, llevada a una temperatura de 1750°F y mantenida por espacio de 1/2 hora.
- El contenido de carbón fijo se determina por diferencia después de pesar las cenizas, cuando ha tenido lugar la combustión completa del carbón en presencia del oxígeno.

El método de análisis aproximado es simple y rápido, que favorece mucho para cálculos rápidos en planta. Sin embargo, como es aproximado arroja errores en el cálculo de combustión, por ejemplo, es necesario conocer el hidrógeno del carbón, con el propósito de calcular las pérdidas de calor en un balance de energía. "De Baufre" presenta dos curvas en las cuales relaciona el porcentaje de materia volátil en el análisis aproximado, con el porcentaje de hidrógeno en el carbón, pero también advierte hasta 1.5% de error en determinar la pérdida de calor por la evaporación del hidrógeno -

presente en el combustible.



El porcentaje de materia volátil en el análisis a proximado tiene relación con el porcentaje de CO_2 en los productos de combustión (seco).



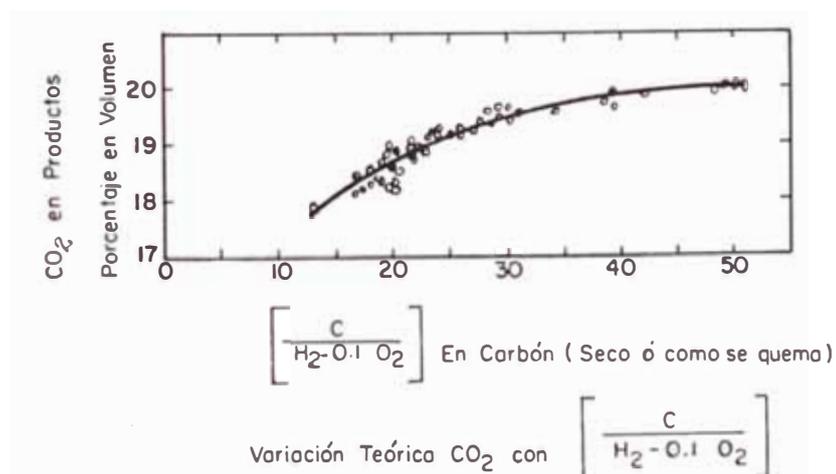
ANALISIS COMPLETO

Para un cálculo completo de combustión es necesario tener un análisis completo del carbón, este análisis incluye en porcentajes en peso :

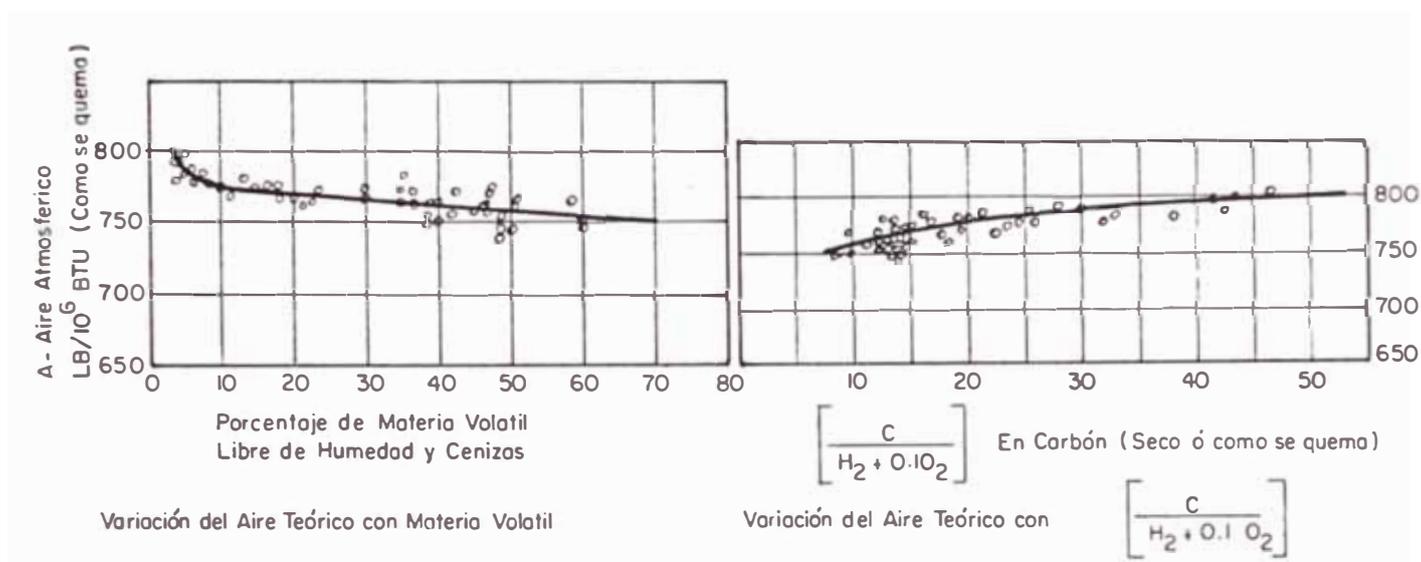
Humedad (H_2O)
 Carbón (C)
 Hidrógeno (H_2)
 Azufre (S)
 Oxígeno (O_2)
 Nitrógeno (N_2)
 Cenizas (Ash)

La humedad y las cenizas se determinan, de la misma manera que para el análisis aproximado. Todos los otros valores, menos el oxígeno se determinan por el procedimiento descrito por (ASTM). La cantidad de oxígeno se determina por diferencia de todos los otros elementos de 100%.

Determinando el hidrógeno en el análisis completo, la cantidad de agua formada en la combustión puede ser calculada con precisión. Además conociendo el análisis completo, es posible obtener una mejor relación entre CO_2 en los productos (seco) y la relación $H_2 - 0.1 O_2$ para todos los carbones.



Además existe una relación entre el contenido de material volátil y la relación $H_2 + 0.1 O_2$, con el aire atmosférico a 0% de exceso de aire.



La separación cuantitativa de un compuesto, como el carbón mineral en sus elementos químicos, requiere no solo un laboratorio bien equipado, sino también químicos expertos, por lo tanto, el análisis completo, no siempre está al alcance del ingeniero de planta.

Contar con el análisis completo de todos los carbones peruanos, sería de gran ayuda para cualquier proyectista de uso del carbón.

COMPOSICION FISICA Y QUIMICA DEL BAGAZO

El bagazo es un material sólido, fibroso que sale de la abertura del último de los molinos de una

batería de trapiche, después de la extracción del jugo. Es el residuo de la molienda de caña.

COMPOSICION FISICA : La composición física del bagazo varía entre límites muy estrechos :

Agua	50% (45-55)
Fibra (materia insoluble)	45%
Azúcar	2.5%
Impurezas o cenizas..	2.5%

COMPOSICION QUIMICA : La composición química del bagazo seco varía ligeramente.

Carbón (C)	43-49%
Hidrógeno	6-7.5%
Oxígeno	42-48%
Cenizas (Ash)	1-2.5%

COMPOSICION QUIMICA TIPICA DE BAGAZO EN ALGUNOS PAISES DEL MUNDO

PAIS	CARBON (C)	HIDROGENO (H ₂)	OXIGENO (O ₂)	NITROGENO (N ₂)	CENIZAS (Ash)
CUBA	45.15	6.00	47.95		2.90
HAWAI	46.20	6.40	45.90		1.50
JAVA	46.03	6.56	45.55	0.18	1.68
MEXICO	47.30	6.08	45.30		1.32
PERU	49.00	5.89	43.56		1.75
PTO.RICO	44.21	6.31	47.72	0.41	1.35

La variación entre las cifras anteriores no es - muy grande y es posible basar los cálculos en los siguientes valores medios :

Carbono (C)	47.0%
Hidrógeno (H ₂)	6.5%
Oxígeno (O ₂)	44.0%
Cenizas (Ash)	2.5%
	100.0%

PETROLEO : La composición química típica del petróleo residual N° 6 o Bunker C es (en peso) :

Carbono (C)	85.5%
Hidrógeno (H ₂)	11.5%
Azufre (S)	1.6%
Nitrógeno (N ₂)	0.7%
Oxígeno (O ₂)	0.7%

Además

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{Sp.gr.}^{\circ}60/60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

$$^{\circ}\text{BAUME} = \frac{140}{\text{Sp.gr.}^{\circ}60/60^{\circ}\text{F}} - 130$$

4.2. PODER CALORIFICO DEL CARBON, BAGAZO Y PETROLEO

Por definición, el poder calorífico de un combustible, viene a ser el contenido calórico o potencial de energía que dispone todo combustible, el cual es aprovechado durante el proceso de combustión.

El contenido calórico se determina en el laboratorio por el método de la bomba calorimétrica. El valor que se obtiene viene a ser el contenido calórico total (bruto), al mismo tiempo se le llama "poder calorífico superior", este valor incluye el calor latente de vaporización del agua total, es decir, el agua del combustible más el agua obtenida por la combustión del hidrógeno existente en el combustible.

"El poder calórico neto" se obtiene deduciendo del "poder calórico bruto", el calor latente de vaporización.

PODER CALORIFICO DEL CARBON

Varias fórmulas se han propuesto para evaluar el potencial de energía de los diferentes tipos de carbón. Partiendo del análisis aproximado o análisis completo, pero todos ellos presentan solo una aproximación. Algunos fabricantes de calderas presentan curvas para relacionar el material volátil con el poder calorífico superior, pero para un tipo de carbón, que no podría ser aplicado con confianza, para el tipo de carbón peruano del proyecto.

Dulong, presenta una fórmula empírica, conociendo el análisis completo del carbón, para el poder ca

lorífico superior :

$$\text{HHV} = 14,500C + 62,000 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 400S \dots \text{Btu/lb}$$

Conociendo la humedad se puede calcular el poder calorífico inferior :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 9720H_2 - 1110H_2O \dots \text{Btu/lb}$$

En lo referente al carbón antracita del Alto Chicama, algunas entidades oficiales, tales como: IN GEMET, PROCARBON, UNI, UNIVERSIDAD ANCIIONAL DE - TRUJILLO, INSTITUTO DEL AZUCAR DE TRUJILLO, etc. reportan para el poder calorífico del Alto Chicama valores alrededor de 12,500 Btu/lb.

Para efectos del proyecto se puede tomar el valor de 12,000 Btu/lb para el poder calorífico superior de la antracita del Alto Chicama.

PODER CALORIFICO DEL BAGAZO

La fórmula empírica de Dulong, también es aplicable para el bagazo :

$$\text{HHV} = 14,500C + 62,000 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \dots \text{Btu/lb}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 9720H_2 - 1110H_2O \dots \text{Btu/lb}$$

En los ingenios azucareros es costumbre reportar el poder calorífico superior en términos del contenido de fibra (F), sacarosa (S), glucosa (G) y hu-

medad (M) en porcentaje de peso.

$$\text{HHV} = 885F + 7119(S) + 6750(G) - 972(M)$$

PODER CALORIFICO TIPICO DE BAGAZO EN ALGUNOS PAISES DEL MUNDO

PAIS	PODER CALORIFICO SUPERIOR Btu/lb	PODER CALORIFICO INF. Btu/lb
CUBA	7985	7402
HAWAI	8160	7538
JAVA	8681	8043
MEXICO	8746	8149
PERU	8280	7707
PTO.RICO	8386	7773

Las CAAs. del Perú se han puesto de acuerdo para usar el valor del poder calorífico superior del bagazo seco : 8280 Btu/lb.

PODER CALORIFICO DEL PETROLEO

Para fines prácticos y referido sólo a combustibles residuales, cuya gravedad "API" a 60°F esté por debajo de los 18°API y con un contenido de azufre entre 1% y 2%, se puede obtener el poder calorífico superior en Btu/lb, aplicando la ecuación :

$$\text{Btu/lb(bruto)} = 18380 + 40 \times (\text{°API} - 10)$$

$$\text{Btu/lb(neto)} = \text{Btu/lb(bruto)} - 1030 \text{ Btu/lb}$$

Para calcular, en un balance térmico, se considera el poder calorífico del petróleo residual N° 6 :
18 500 Btu/lb ó 148,000 Btu/galón.

4.3. EQUIVALENCIAS CALORICAS, ENTRE EL CARBON ANTRACITA DEL ALTO CHICAMA, BAGAZO DE LAS CAAs. Y PETROLEO - PERUANO

(Todos los cálculos se realizan con el poder calorífico superior del combustible).

- Poder calorífico del carbón :

(Antracita del Alto Chicama) 12,000 Btu/lb

Eficiencia de la caldera a carbón
(estimada) 75%

Energía neta del carbón : $12,000 \times 0.75 = 9,000$ Btu
/lb

Energía neta entregada a la caldera por una tonelada de carbón es: $9,000 \times 2250 = 19.8 \times 10^6$ Btu

- Poder calorífico del bagazo (50% de humedad) 4,140 Btu/lb

Eficiencia de la caldera bagacera 60%

Energía neta del bagazo: $4140 \times 0.6 = 2484$ Btu/lb

Energía neta entregada a la caldera por una tonelada de bagazo = $2484 \times 2205 = 5.48 \times 10^6$ Btu

- Poder calorífico del petróleo residual N° 6 148,000 Btu/gl.

Eficiencia de la caldera con petróleo 80%

Energía neta del petróleo: $148,000 \times 0.8 = 118,400$
Btu/gl.

Energía neta entregada a la caldera por un galón -
de petróleo = 0.1184×10^6 Btu

EQUIVALENCIAS

Petróleo carbón :

$$\frac{19.8 \times 10^6 \text{ Btu/TM.carbon}}{0.1184 \times 10^6 \text{ Btu/galón}} = 167 \text{ gls.petróleo/TM.carbón}$$

$$1 \text{ Ton.carbon} = 167 \text{ Gls.petróleo}$$

Bagazo-carbón :

$$\frac{19.8 \times 10^6 \text{ Btu/TM.carbón}}{5.48 \times 10^6 \text{ Btu/TM.bagazo}} = 3.46 \text{ TM.bagazo/TM.carbón}$$

$$1 \text{ Ton.carbón} = 3.46 \text{ Ton.bagazo}$$

$$1 \text{ Ton.bagazo} = 46.28 \text{ gls.petróleo}$$

Además : 1 Ton.carbón produciría en una termoeléctrica :

$$\frac{19.8 \times 10^6 \text{ Btu} \times 0.3}{3413 \text{ Btu/KW-Hr}} = 1750 \text{ KW-Hr de electricidad}$$

4.4. CALCULO DE COMBUSTION PARA EL PETROLEO, BAGAZO Y CARBON (Antracita del Alto Chicama).

Para el diseño de una caldera, el cálculo de combustión es uno de los primeros pasos para dimensionar la unidad. Por ejemplo: el peso de los gases de combustión es requerido para calcular y dimensionar el hogar de la caldera, calentador de aire, economizador, ductos de gases, colector de ceniza,

ventilador de tiro inducido y chimenea. El peso del aire es necesario para calcular y dimensionar el calentador de aire, quemadores, ventilador de tiro forzado, etc.

Los métodos analíticos para el cálculo de combustión, requieren un conocimiento completo de la composición química del combustible. Algunos fabricantes de calderas, tales como: Babcock & Wilcox, Combustion Engineering, presentan métodos más prácticos: el método del Btu y el método gráfico de cálculo de combustión que presenta Combustion Engineering ayudan mucho para hacer cálculos en campo.

El aire teórico se puede calcular por el método del Btu :

$$\text{lb. aire} \frac{\text{Btu}}{10,000} = \frac{144 \times (8C + 24 (H_2 - \frac{O_2}{8}) + 3S)}{\text{Btu/lb}}$$

El método gráfico de Combustión Engineering está basado en el concepto de que el peso del aire requerido para la combustión de un combustible, es mucho más proporcional a la unidad de calor, que a la unidad de peso del combustible. En consecuencia, los pesos del aire, gases, humedad, son expresados en libras por cada millón de Btu del combustible quemado. En el caso de los combustibles sólidos, donde no es posible quemar el 100%, se

debe hacer una corrección por la pérdida del combustible no quemado.

En el cálculo de combustión se desarrollan los siguientes items :

- a) Combustible
- b) Aire atmosférico
- c) Efecto del combustible no quemado
- d) Productos de combustión
- e) Humedad del aire
- f) Humedad del combustible
- g) Gases de combustión (seco)
- h) Dióxido de carbono en gases de combustión

Los cuatro primeros items son necesarios para calcular las cantidades de aire y gases. Los items e, f, g, son necesarios para calcular el balance de energía. El último item relaciona el dióxido de carbono de los gases con el exceso de aire que garantiza, que la combustión se ha efectuado en forma completa.

1. Combustible (F) :

$$F = \frac{10^4}{\text{HHV}} (100 - \% \text{ Ash} - \% \text{ combustible sólido no quemado})$$

2. Aire atmosférico (A). Toda combustión requiere oxígeno, el cual procede del aire atmosférico.

El aire teórico puede ser calculado del análisis de combustible, tales como :



Oxígeno en el aire (% peso) = 23.20%

Oxígeno en el aire (% volumen) = 20.96%

Conociendo el análisis completo del combustible se calcula el aire teórico, por el método del Btu, expresado en libras de aire por cada 10,000 Btu del combustible :

$$\text{Lbs. aire} \frac{\text{Btu}}{10,000} = \frac{144.(8C + 24 (H_2 - \frac{O_2}{8}) + 3S)}{\text{HHV}}$$

- 3 Combustible no quemado. En los combustibles líquidos y gaseosos, no se considera combustible no quemado, pero para combustibles sólidos como el bagazo y carbón, se debe estimar el porcentaje del combustible no quemado, para hacer las correcciones de aire atmosférico, multiplicando por un factor C :

$$C = 1 - \frac{\% \text{ combustible no quemado}}{100}$$

- 4 Productos de combustión (P): $P = F + CA$

P = peso de los gases en $lb/10^6$ Btu

F = peso del combustible $lb/10^6$ Btu

A = peso del aire atmosférico consumido en $lb/10^6$ Btu

C = factor de corrección por combustible no quemado.

5. Humedad del aire, (W_a). 60% humedad y 60°F
 $W_a = 0.013A$

6. Humedad total del combustible, (W_f)

W_f = humedad superficial + humedad inherente del combustible

$$W_f = W_c + W_h$$

W_c = humedad del combustible (humedad superficial)

W_h = humedad formada por el hidrógeno del combustible.

$$W_h = 9 \times H_2 \times \frac{(10^4)}{HHV}$$

7. Gases de combustión, (P_d) :

$$P_d = P - (W_a + W_f)$$

8. Dióxido de carbono en gases de combustión, (CO_2)

- El CO_2 de los gases de la chimenea es usado por los operadores de calderas como una guía para ajustar el aire requerido.

El Orsat o cualquier aparato analizador de gases, no reporta el oxígeno, sino la medida de los constituyentes de los gases.

RELACION ENTRE CO_2 Y EXCESO DE AIRE

Es necesario conocer la relación que existe entre el CO_2 de los gases y el exceso de aire

de la combustión. Esta relación varía de acuerdo al contenido de carbono e hidrógeno de cada combustible.

El método gráfico presentado por Combustion Engineering es una herramienta muy útil para cálculos rápidos de combustión, el mismo que utilizamos en este trabajo, para el cálculo de combustión del carbón antracita del Alto Chicama, el bagazo y petróleo.

Las calderas se fabrican para un tipo de combustible y un exceso de aire para la máxima eficiencia de la caldera.

CALCULOS DE COMBUSTION PARA EL PETROLEO RESIDUAL N° 6, CON UN 10% DE EXCESO DE AIRE (método gráfico)

Poder calorífico : 18,500 Btu/lb

Análisis :

Carbono (C)	85.5%
Hidrógeno (H ₂)	11.5%
Azufre (S)	1.6%
Nitrógeno (N ₂)	0.7%
Oxígeno (O ₂)	0.7%

1. Combustible, $F = \frac{1'000,000}{18,500} = 54 \text{ lbs/MBTU}$
2. Aire atmosférico, A

Curva A, para 10% de exceso de aire, $A = 825 \text{ lb/}$
 MBTU

(Aire teórico = 750 lb/MBTU)

3. Combustible no quemado, no existe, $C = 1$
4. Peso total de los productos, $P = F + CA = 54 + 1$
 $\times 825 = 879 \text{ lb/MBTU}$
5. Humedad del aire, $W_a = 0.03A = 0.013 \times 825 = 11$
 lb/MBTU
6. Humedad total del combustible, W_f
 Humedad del combustible, $W_c = 0$
 Curva C, con HHV = 18 500 y $H_2 = 11.5$
 $W_h = 56 \text{ lbs/MBTU}$
 $W_f = W_c + W_h = 0 + 56 = 56 \text{ lb/MBTU}$
7. Peso de los gases $P_d = P - (W_a + W_f) = 879 -$
 $(11 + 56) = 812 \text{ lb/MBTU}$
8. Porcentaje de CO_2 en gases
 Curva B, con 10% de exceso de aire y $C/H_2 = 7.5$
 $\% \text{CO}_2 = 14.4\%$
 (del mismo modo se calcula para 20% de exceso de
 aire)

CALCULOS DE COMBUSTION PARA BAGAZO, CON UN EXCESO - DE AIRE DE 35% (método gráfico).

Humedad del bagazo: 50%

Poder calorífico del bagazo seco: 8,280 Btu/lb

Composición:	Carbono (C)	47 %
	Hidrógeno (H_2)	6.7%
	Oxígeno (O_2)	44 %
	Cenizas (Ash)	2.5%

1. Combustible, F

$$\text{Ceniza} = 2.5 \left(\frac{100 - 50}{100} \right) = 1.25\%$$

$$\text{HHV.} = 8,280 \left(\frac{100 - 50}{100} \right) = 4140 \text{ Btu/lb}$$

$$F = 10^4 \left(\frac{100 - 1.25}{4,140} \right) = 240 \text{ lbs/MBTU}$$

2. Aire atmosférico, A

$$C = \frac{47}{6.5 + 0.1 \times 44} = 4.3$$

Curva A, para $r = 4.3$ y 35% de exceso de aire

$$A = 925 \text{ lbs/MBTU}$$

(aire teórico = 680 lb/MBTU)

3. Combustible no quemado. El combustible no quemado en una caldera bagacera, es del orden del 1%, $C = 0.99$ 4. Peso total de los productos, $P = F + CA. = 240 + 0.99 \times 925 = 1146 \text{ lb/MBTU}$ 5. Humedad del aire, $W_a = 0.013A = 0.013 \times 925 = 12 \text{ lbs/MBTU}$ 6. Humedad total del combustible, W_f

Curva D, con 50% de humedad del bagazo y poder calorífico 4140 Btu/lb

$$W_c = 120 \text{ lbs/MBTU}$$

$$H_2 = 6.5 \times \left(\frac{100 - 50}{100} \right) = 3.25\%$$

Curva C, con $H_2 = 3.25\%$ y 4140 Btu/lb

$$W_h = 70 \text{ lbs/MBTU}$$

$$W_f = W_c + W_h = 120 + 70 = 190 \text{ lb/MBTU}$$

7. Peso de los productos de combustión,

$$P_d = P - (W_a + W_f) = 1146 - (12+190) = 944 \text{ lb/MBTU}$$

8. Porcentaje de CO_2 en los gases:

$$C = \frac{47}{x \ 44} = 22$$

Curva B, con $R = 22$ y 35% de exceso de aire,

$$\% \text{CO}_2 = 15.3$$

(del mismo modo se puede calcular para cualquier porcentaje de exceso de aire).

CALCULO DE COMBUSTION PARA CARBON ANTRACITA (ALTO CHICAMA) CON UN 20% DE EXCESO DE AIRE

Poder calorífico: 12,000 Btu/lb

Análisis aproximado :

Humedad (H_2O)	5.4%
Material volátil (MV)		3.8%
Carbón fijo (C)	77. %
Cenizas (Ash)	13.8%

1. Combustible, F

Asumiendo un 1% de combustible no quemado :

$$F = 10^4 \frac{(100 - \% \text{ de Ash} - \% \text{ combustible no quemado})}{\text{HHV}}$$

$$10^4 \frac{(100 - 1 - 13.8)}{12,000} = 72 \text{ lb/MBTU}$$

2. Aire atmosférico, A :

$$\text{Humedad} = \text{Ash} = 5.4 + 13.8 = 19\%$$

$$\text{M.V. (libre de humedad y ceniza)} = \frac{3.8}{1 - 19/100} - 4.7\%$$

Curva A, con MV = 4.7% y 20% de exceso de aire

$$A = 950 \text{ lb/MBTU}$$

(aire teórico = 785 lb/MBTU)

3. Combustible no quemado. Con 1% de combustible no quemado, C = 0.99

4. Peso total de los productos; $P = F + CA =$
 $950 + 0.99 \times 72 = 1022 \text{ lb/MBTU}$

5. Humedad del aire, $W_a = 0.013A = 0.013 \times 950 =$
 12 lb/MBTU

6. Humedad total del combustible, W_f

Curva D, con 5.4% de humedad y 12,000 Btu/lb.

$$W_c = 2.5 \text{ lb/MBTU}$$

El poder calorífico libre de humedad y cenizas es :

$$\frac{12,000}{1 - 19/100} = 13,180 \text{ Btu/lb}$$

Con MV = 4.7% y 13,180 Btu/lb ; $H_2 = 1.8\%$ (libre humedad y cenizas), reconvirtiendo al estado natural del combustible.

$$H_2 = 1.8 \times (1 - 19/100) = 1.62\%$$

Curva C, con $H_2 = 1.62\%$ y 13,180 Btu/lb, $W_h =$
 11 lb/MBTU

$$W_f = W_c + W_h = 2.5 + 11 = 13.5 \text{ lb/MBTU}$$

7. Peso de los gases, $P_d = P - (W_a + W_f) =$
 $1022 - (12 + 13.5) = 996 \text{ lb/MBTU}$
8. Porcentaje de exceso de aire,
 Curva B, con MV = 4.7% y 20% de exceso de aire
 $\% \text{CO}_2 = 16.4$ (del mismo modo se calcula para -
 30% de exceso de aire).

COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE COMBUSTION

	PETROLEO		BAGAZO	CARBON	
	Lb/MBTU	Lb/MBTU		Lb/MBTU	Lb/MBTU
	20%	10%	35%	20%	30%
1. Combustible, F	54	54	240	72	72
2. Aire atmosférico, A (aire teórico)	900	875	925	950	1030
	(750)		(680)	(785)	
3. Combustible no quemado, C	(C = 1)		(C = 0.99)	(C = 0.99)	
Peso total de pro- ductos, P	954	879	1146	1013	1090
5. Humedad del aire, W_a	12	11	12	12	12
6. Humedad del combus- tible, W_f	56	56	190	13.5	13.5
7. Peso de los gases (seco), P_d	886	812	944	988	1065
8. Porcentaje de CO_2 ,	13.2	14.4	15.3	16.4	14.8

CAPITULO 5

TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN EN GENERADORES DE VA POR-CALDERAS

Es importante, para precisar el esquema del proyecto, conocer las posibilidades tecnológicas existentes para producción de energía termica a partir del carbón.

A continuación se mencionan las principales :

a) Combustión de carbón :

Sobre parrilla

Pulverizado

En lecho fluidizado

En horno tipo ciclón

Mezclado con petróleo o con agua

b) Gasificación del carbón :

En lecho fijo, fluidizado, suspensión

En diferentes procesos, ya sea utilizando oxígeno o aire, a presión atmosférica o presiones mayores en una o más etapas, a temperatura de fusión de cenizas, en operación continua e intermitente, etc.

Para seleccionar el método de combustión para cada tipo de carbón, se toma en cuenta las siguientes consideraciones

generales en lo referente al carbón :

Tipo de carbón
 Triturabilidad
 Temperatura de fusión de las cenizas
 Contenido de azufre (máximo) 5%
 Humedad (máxima) %
 Cenizas (máximo) %
 Volátiles (mínimo) %

SISTEMAS DE COMBUSTION

PROPIEDADES DEL CARBON	SOBRE PARRILLA (STOCKER)	CARBON PULVERIZ.	EN HORNO CICLON	EN LECHO FLUIDIZADO
Tipo	Si	Si	Si	No
Triturabilidad	No	Si	No	No
Temperatura de fusión cenizas	Si	No	Si	No
Contenido azufre (máximo) %	5	-	-	-
Humedad máximo %	15-20	15	20	70
Cenizas (máximo) %	20	20	25	50
Volátiles (mínimo) %	15	15	15	2

5.1. CALDERAS CONVENCIONALES A CARBON

En líneas generales, la producción mundial de electricidad se ha efectuado a base de: Petróleo 38% , gas natural 20%, hidráulico 7% y energía nuclear

5% (datos año 1986) En el Perú prácticamente no se usa carbón para producción de electricidad.

Esta tercera parte (30%) de la producción mundial a base de carbón (sub-bituminosos, bituminosos y lignitos) fué posible el desarrollo de tecnologías de combustión de carbón, que se han ido perfeccionando y adecuando para cada tipo de carbón y/o rango de aplicaciones.

Tres son los sistemas de combustión de carbón que se han desarrollado tradicionalmente para propósitos de generación térmica y eléctrica: en lecho fijo, pulverizado y en horno ciclónico.

Además de otras nuevas tecnologías, como el lecho fluidizado.

5.1.1. Calderas a carbón en lecho fijo (sobre parrillas).

El sistema de combustión sobre parrilla, - fué la más económica metodología para quemar carbón en todos los tiempos. Se desarrolló casi juntos en la historia de las calderas industriales y mucho antes que el sistema de carbón pulverizado. El carbón es empujado, bajado o lanzado sobre la parrilla por un mecanismo llamado stocker. Las cenizas dejadas después de la combustión, es removi-

da del horno en una base continua por movimiento de la parrilla, volcable o viajera.

Para este sistema se requiere una correcta selección del tipo de carbón y el tamaño adecuado (en trozos). Este sistema trabaja muy bien para carbones con alto material volátil y que no produzcan escorias, alta temperatura de fusión de las cenizas, bajo contenido de cenizas. El tamaño del carbón deberá ser más o menos uniforme de 1/4" a 1" con muy pocos finos.

Estas unidades se diseñan para quemar de 40 a 60 lbs de carbón/hr-pié² de parrilla. El área de la parrilla requerida para un diseño de stocker y capacidad de la caldera, se determinan por valores permisibles de liberación de calor establecidos por experiencia: estos datos en btu/hr-pié² están basados en uso de carbones apropiados al stocker en particular.

Los valores permisibles de liberación de calor establecidos por experiencia son :

- Spreader stocker :
con parrilla estacionaria o de volteo 450,000 Btu
hr-pié²
- Spreader stocker :
con parrillas reciprocantes, vibrantes
y oscilantes 600,000 Btu
hr-pié²

- Stocker de alimentación cruzada:	
cadena o parrilla viajera	500,000 Btu hr-pié ²
parrilla vibratoria enfriada por agua	400,000 Btu hr-pié ²
- Stocker de alimentación inferior:	
simple o doble retorta	425,000 Btu hr-pié ²
múltiple retorta	600,000 Btu hr-pié ²

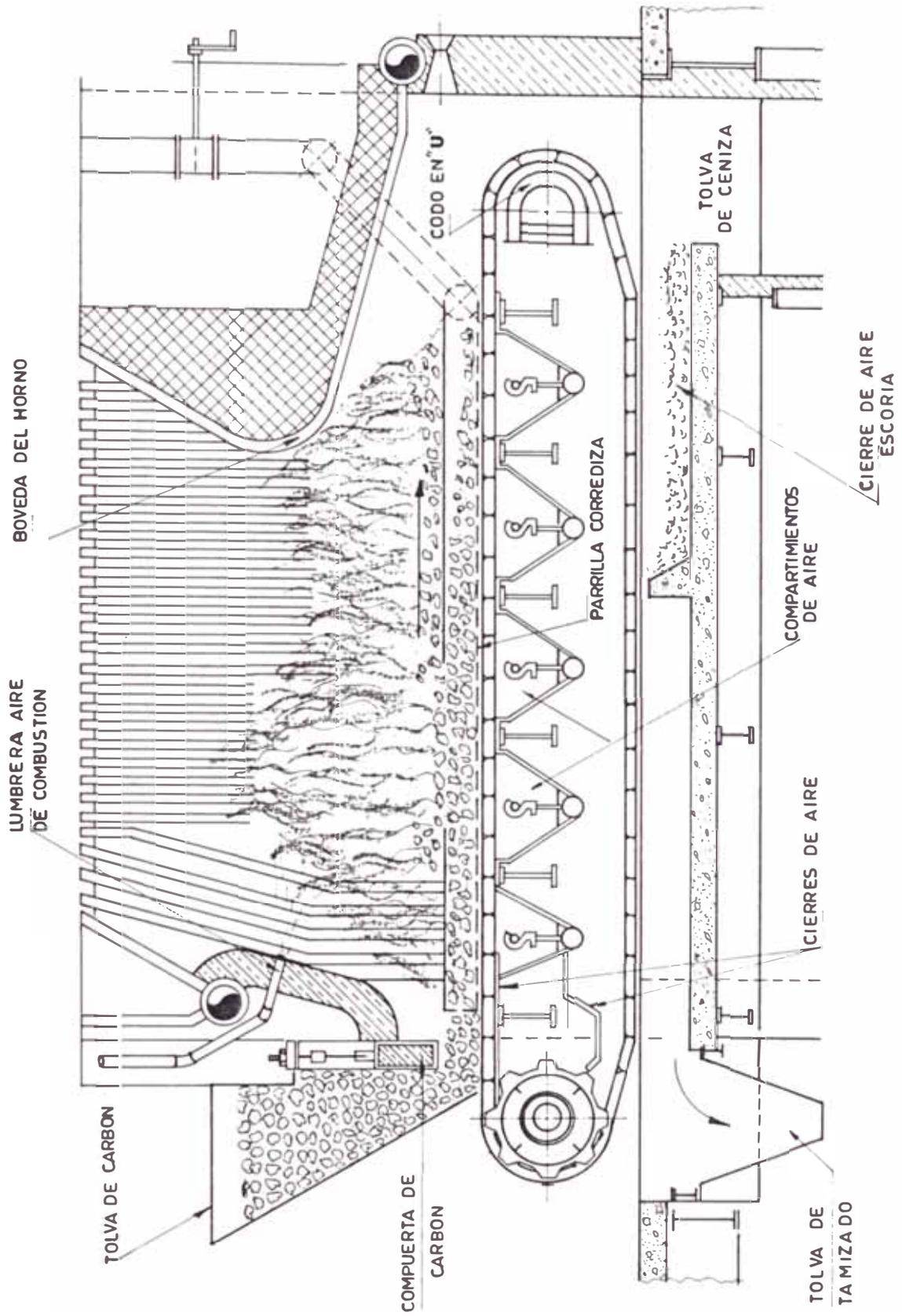
Cuando se incrementa el tamaño de la caldera, las consideraciones prácticas limitan el tamaño de la parrilla y consecuentemente la capacidad de generación de la unidad.

Para ilustrar : Spreader-stocker están especificados para calderas de 5,000 a 400,000 lbs/hr usando parrillas estacionarias en el extremo bajo del rango y parrillas viajeras en el extremo alto del rango.

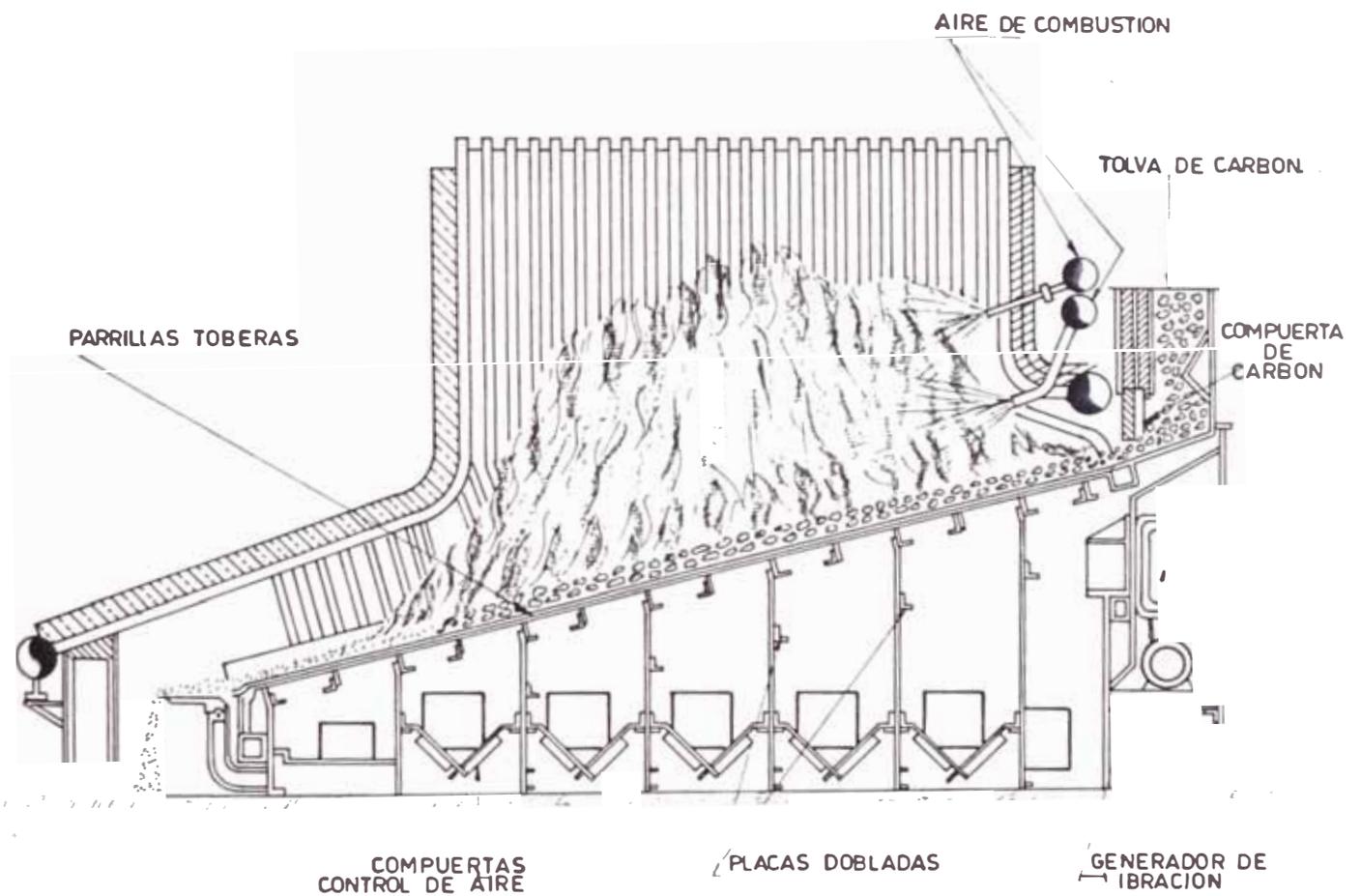
Stocker de alimentación cruzada: son empleados en tamaños de 15,000 a 250,000 lbs/hr, en tanto que los stockers de alimentación inferior de simple retorta de 5,000 a 35,000 lbs/hr y los de múltiple retorta de 40,000 a 400,000 lbs/hr.

Este sistema de combustión es de muy baja eficiencia, en comparación con el sistema pulverizado, razón por la cual en la actualidad no se usa sino pa

ALIMENTADOR DE PARRILLA MOVIL



**ALIMENTADOR DE PARRILLA VIBRADORA
ENFRIADOR POR AGUA
MASS BURNING STOKER**



ra generación de vapor para procesos y no para generación eléctrica.

5.1.2. Calderas con quemador de carbón pulverizado.

Las calderas a carbón pulverizado, se han desarrollado para ganar eficiencia y diseño de unidades mucho más compactas que los de lecho sobre parrillas. Fabricantes tradicionales de calderas, tales como Babcock & Wilcox, Combustion Engineering Inc., Foster Wheeler, Distral y muchos otros, han desarrollado modernas unidades de carbón pulverizado de alta eficiencia y flexibilidad de operación.

La técnica de carbón pulverizado es económicamente factible solamente para unidades grandes (200,000 lbs/hr.mínimo) y su capacidad para seguir las fluctuaciones de carga es igual a las calderas de petróleo o gas.

Este tipo de calderas implica el empleo de equipo de molienda de carbón, de modo que el carbón es molido o pulverizado hasta un tamaño en que al 70 u 85% pasa a través de un cedazo con malla N° 200 - (40,000 aperturas por pulgada cuadrada) y empieza a ser tan fino que cuando entra en contacto con el aire, la mezcla se asemeja a un fluido. El carbón

en suspensión es introducido al horno a través del quemador a altas velocidades (3,000 - 5,000 p.p.m) mezclado con aire caliente primario (2 lbs.aire/lb carbón) a una temperatura que depende del tipo de carbón.

Para lignito 120 - 140°F, bituminoso 150 - 175°F y antracita 175 - 212°F.

La facilidad de combustión del carbón pulverizado se debe a la gran área que se obtiene a través del trabajo del molino.

Este método es más efectivo con carbones bituminosos que tienen un alto o medio contenido de volátiles. Para quemar carbón antracita (cisco) se requieren hogares especiales, normalmente con los quemadores dirigidos hacia abajo, para dar tiempo a la combustión lenta que resulta del bajo contenido de volátiles del carbón antracita. Por lo general para quemar antracita se requiere el uso de un mínimo de 7% a 10% de petróleo como combustible auxiliar para ayudar y asegurar la continuidad de la llama, especialmente a bajas cargas.

El diseño de la cámara de combustión, quemadores y equipos para remoción de cenizas y escoria, dependen de condiciones tales como :

Temperatura de fusión de las cenizas

Viscosidad de la escoria

Composición de las cenizas

El principal propósito de moler carbón es :

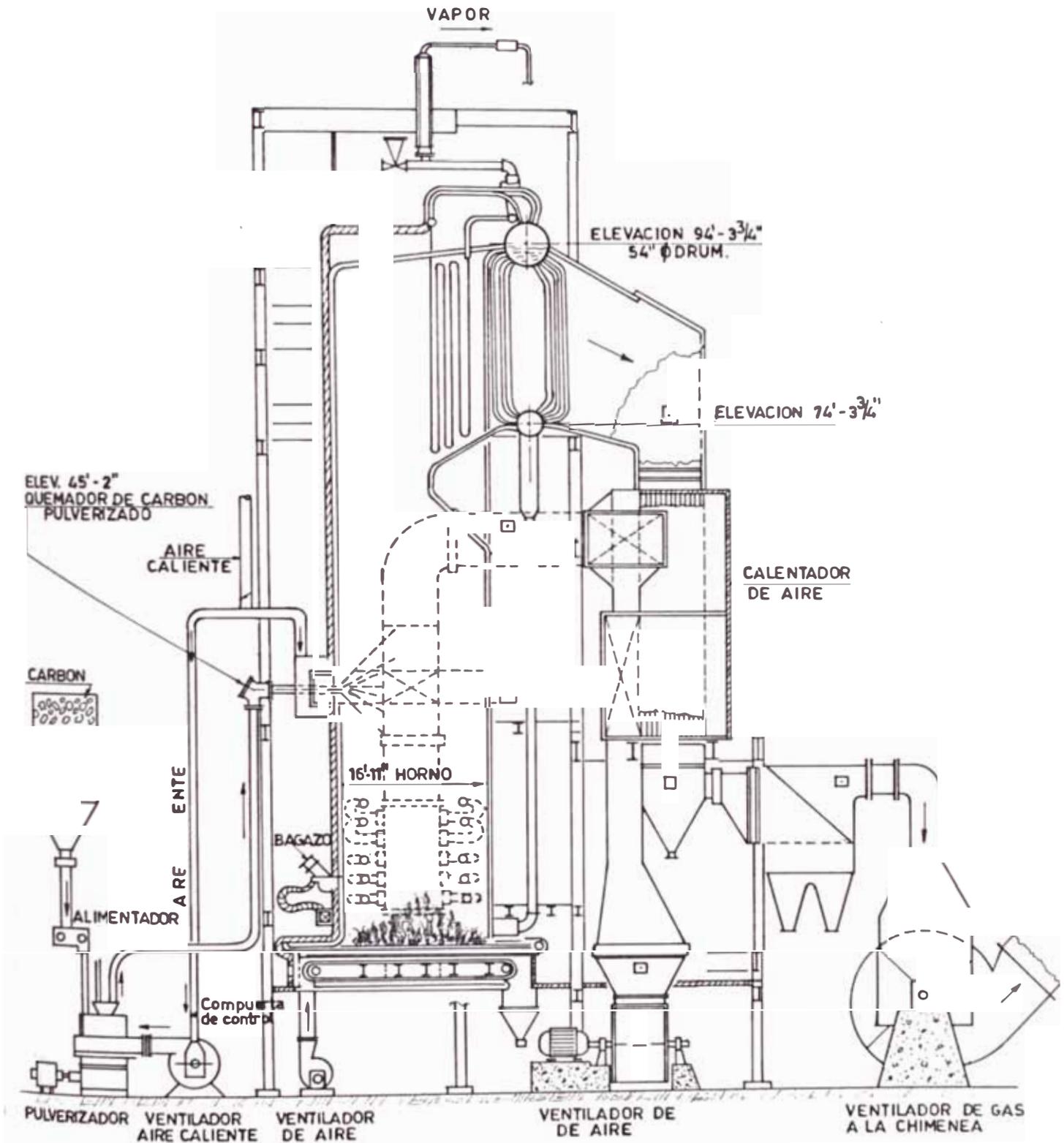
- Acelerar la combustión
- Asegurar la completa combustión para una máxima eficiencia.
- Reducir la cantidad de exceso de aire, para aproximarlo a aquel que requiere para quemar gas o petróleo.
- Evitar los depósitos de cenizas y/o carbón en las superficies absorbentes de calor de la caldera.

5.1.3. Caldera con quemadores de carbón en horno tipo ciclón

La demanda de energía para el desarrollo industrial en el presente siglo, ha requerido de continuos avances en los métodos de combustión del carbón. La introducción del método de combustión del carbón pulverizado en 1920 fué el mayor avance logrado sobre los métodos de combustión sobre parrilla.

Hoy en día, la combustión de carbón pulverizado está altamente desarrollada y todavía es el mejor método de combustión para un gran rango de carbones,

SISTEMA DIRECTO DE QUEMAR CARBON PULVERIZADO



CALDERO COMBUSTION-TYPE VU-40

COOPERATIVA AGRARIA AZUCARERA CARTAVIO LTDA.

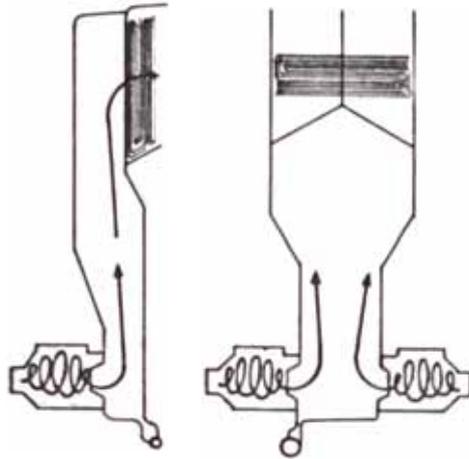
CAPACITY : 275,000 LBS. STEAM PER HOR.-600 P.S.I.G. 745°F.

especialmente para los de alto grado de material - volátil.

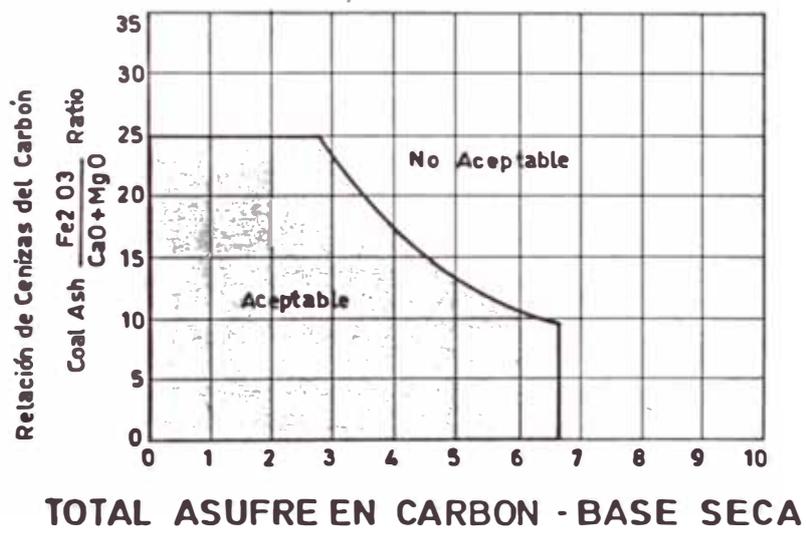
El otro método de combustión de carbón en horno ciclónico, también se ha desarrollado y es ampliamente usado, pero un rango de carbones que tengan una viscosidad de la escoria de 250 poises a 2600°F o menos que previamente al análisis de las cenizas - no tiene que indicar excesiva formación de fierro y/o ferritas. Con estos carbones la combustión en horno ciclónico prevee los beneficios obtenidos en el carbón pulverizado, más las siguientes ventajas:

- Reducción de las cenizas en el flujo de gases
- Ahorro en el costo de preparación del carbón, - porque sólo requiere carbón triturado.
- Reducción del tamaño del horno, grandes capacidades y unidades mucho más compactas.

En este sistema, el carbón procesado (90% malla N° 4) se quema a alta temperatura en un horno cilíndrico, fuera del hogar, el cual es introducido en el extremo frontal del quemador (horno tipo ciclón) con aproximadamente el 15% del aire total de la combustión (aire primario), el cual imparte un movimiento de rotación del carbón que está entrando. Esta acción centrífuga es aumentada por la admisión del aire secundario, tangencialmente a la velocidad aproximadamente de 350 p.p.s. Una pequeña can



COMBUSTION EN QUEMADOR CICLONICO



tividad de aire (5%) es admitida por el centro del quemador (aire terciario).

Debido a la alta temperatura desarrollada (3000°F, las cenizas se funden y son extraídas en forma líquida).

De esta manera se evita que el 70% ú 80% de las cenizas entren a la caldera y causen problemas.

Hasta ahora toda la información relacionada con este tipo de horno, indica el uso de un carbón con alto contenido de volátiles mayores a 15%. Las plantas actuales están operando con un carbón con volátiles mayores de 30%.

Es probable que la antracita no sea apta para este tipo de horno, porque sus volátiles son del orden de 3 - 5%.

El exceso de aire requerido para una combustión satisfactoria en un horno ciclónico es menor que el 10% y la pérdida de eficiencia por el combustible no quemado es menor que el 0.1% con buenos carbones

Este método se adapta muy bien en calderas con rango de capacidad de 120,000 a 1'000,000 lbs/hr.

Carbones con alto contenido de azufre y/o alto contenido de fierro en las cenizas, no son adecuados para calderas con quemadores ciclónicos.

5.1.4. Mezcla de carbón con petróleo o agua

El quemado de carbón pulverizado mezclado con petróleo está dirigido principalmente a la conversión de calderas petroleras a carbón, con poca inversión.

El porcentaje de carbón en estas mezclas está limitado a 30% ó 40%, por razones de viscosidad y de las altas temperaturas (300°F) y presiones necesarias para su bombeo y atomización.

El cien por ciento de las cenizas del carbón entran a las calderas y el comportamiento de las cenizas es esencial para la operación o sea que es muy importante el tipo de carbón en lo relativo a su contenido de cenizas y su punto de fusión. La caldera sufre una reducción en capacidad de hasta 30% por razones del aumento de gases y de la necesidad de limitar velocidad de gases cargados con cenizas para evitar erosión en los tubos.

PETROPERU está experimentando con mezclas de carbón antracita y petróleo, con la idea de vender la mezcla ya preparada en lugar de petróleo. Este proyecto está en la etapa de experimentación. PETROPERU ha contratado la asesoría de una compañía norteamericana.

El mezclado de carbón con agua también está dirigido a la conversión de calderas petroleras. Esta tecnología todavía está en sus inicios. Los problemas son múltiples, altos costos y requieren carbón con muy pocas cenizas.

Un sistema desarrollado en Suecia consiste en pulverización lavada para eliminar cenizas y espesamiento.

Hasta donde se conoce, emplean carbones bituminosos con alto porcentaje de cenizas. Es probable que si la antracita sin agua requiere petróleo auxiliar, una antracita con agua requeriría combustible auxiliar en mayor proporción.

5.2. NUEVAS TECNOLOGIAS DE CALDERAS DE LECHO FLUIDIZADO

Los principios de lecho fluidizado se han desarrollado y utilizado por muchas décadas en reacciones de no combustión. Sin embargo, en los últimos 25-30 años, estos principios han sido utilizados en reacciones de combustión, durante los cuales han dado grandes avances, las tecnologías de combustión en lecho fluidizado para propósitos de generación térmica y eléctrica.

5.2.1. Principio de fluidización

Fluidización es la suspensión del material

en un flujo de gas de corriente ascendente. El material en una cámara de combustión de lecho fluidizado consiste de materiales inertes y/o una pequeña cantidad de combustibles.

Este material inerte puede ser arena, cenizas del combustible, piedra calcárea y/o unas combinaciones de ellos.

La sustentación del material inerte se logra por un flujo de aire del tiro forzado, por debajo del lecho.

El carbón es entonces agregado a este lecho y quemado bajo presión atmosférica AFB (Atmospheric Fluidized Bed), o a presión elevada de 3 a 10 atmósferas PFB (Pressurized Fluidized Bed).

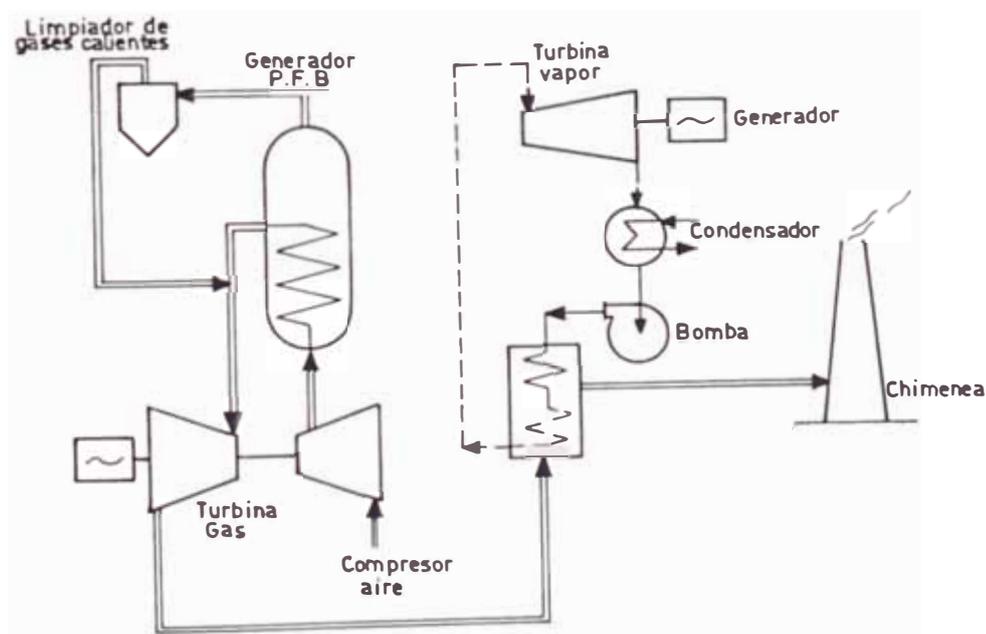
El lecho es inicialmente encendido por un sistema de ignición auxiliar, hasta llevar la temperatura del lecho a un nivel donde tendrá lugar la combustión del carbón, del mismo modo, la fluidización se logra en forma parcial o total del lecho. La mezcla de carbón con el material inerte a alta temperatura en un ambiente de alta turbulencia y alto grado de superficie de contacto entre los materiales y el gas, permiten una combustión eficiente del carbón a menores temperaturas (1550 - 1750°F), que los convencionales hornos a más de 2000°F. Esta condición también permite la combustión de car

bones de bajo grado.

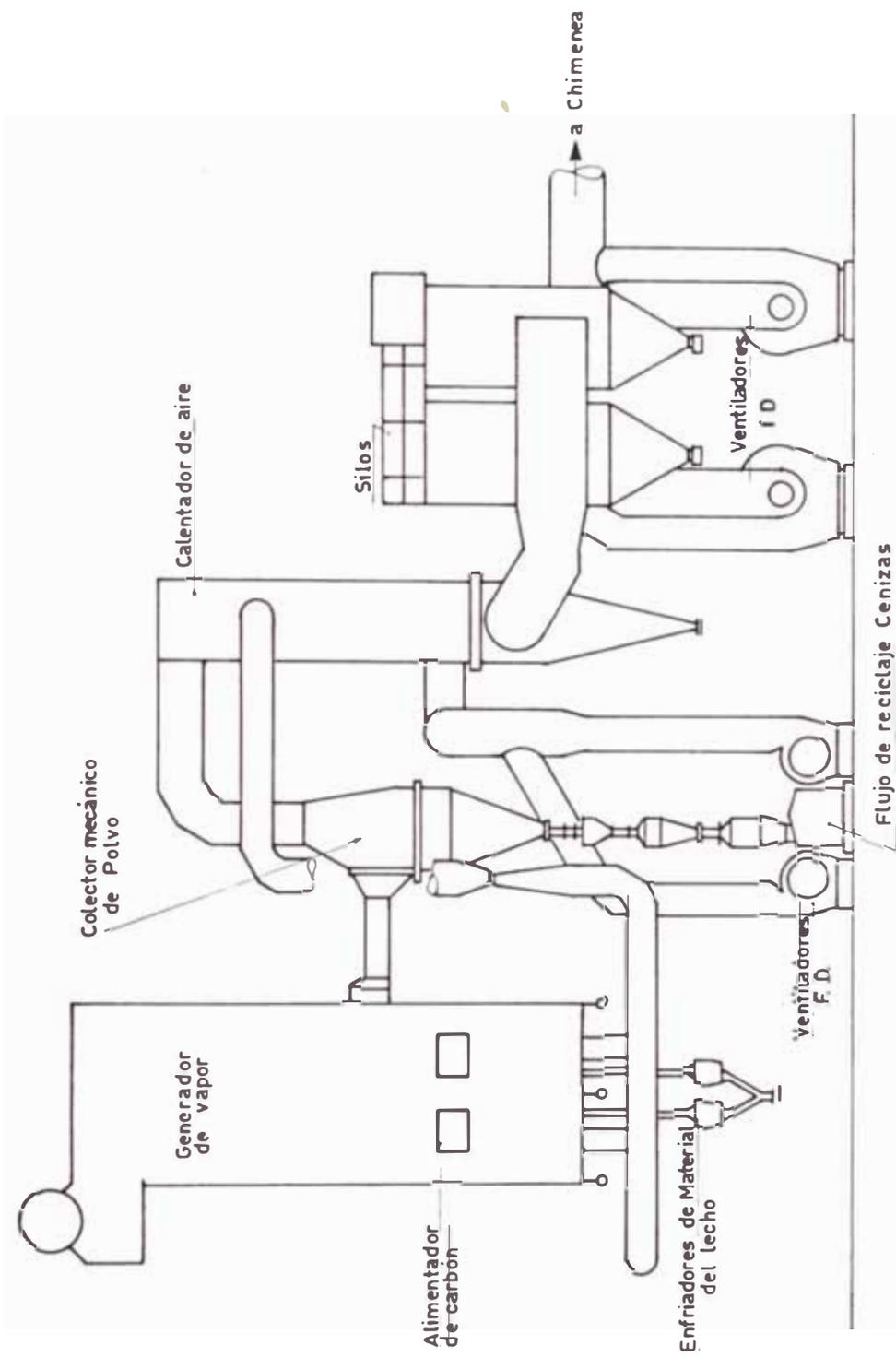
Esta baja temperatura reduce la formación de los indeseables óxidos de nitrógeno (NO_x) y minimiza el escoriamiento por mantener las cenizas por debajo de la temperatura de fusión. La emisión de dióxido de azufre (SO_2) son mínimas por la combinación química con el material inerte (piedra caliza).

Las principales ventajas de la combustión en lecho fluidizado son resumidas en :

- mejoramiento de la combustión debido a la mezcla turbulenta del combustible, material inerte y aire
- Combustión estabilizada es mantenida debido al efecto térmico de absorción de calor por la cantidad de material inerte en el lecho.



CICLO TIPO PARA UNA CALDERA DE LECHO FLUIDIZADO PRESURIZADO

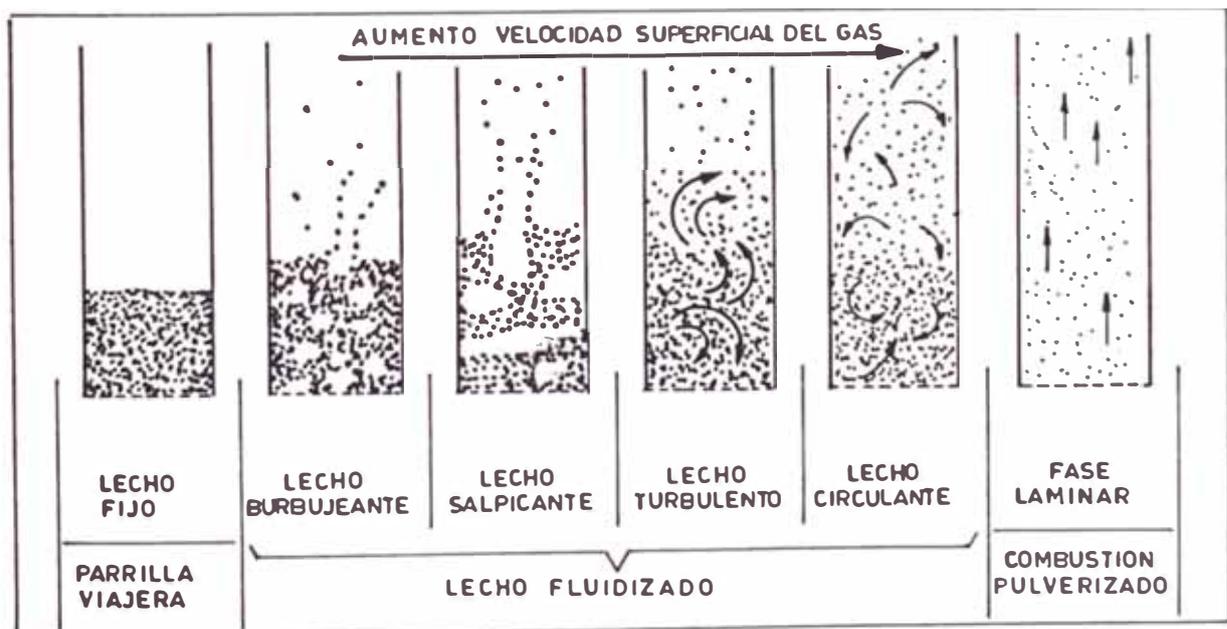


GENERADOR DE VAPOR DE LECHO FLUIDIZADO

- Baja formación de NO_x y escorias debido a que la combustión se lleva a cabo a bajas temperaturas
- Desulfurización debido a la adición de caliza o piedra calcárea en el lecho.

5.2.2. Diferentes tipos de fluidización aplicadas en calderas

Las tecnologías de combustión de lecho fluidizado (AFB y PFB) han logrado grandes avances durante los pasados 15 años. A pesar que ambos han alcanzado alto grado de desarrollo, los AFB han logrado mayor aplicación en calderas.



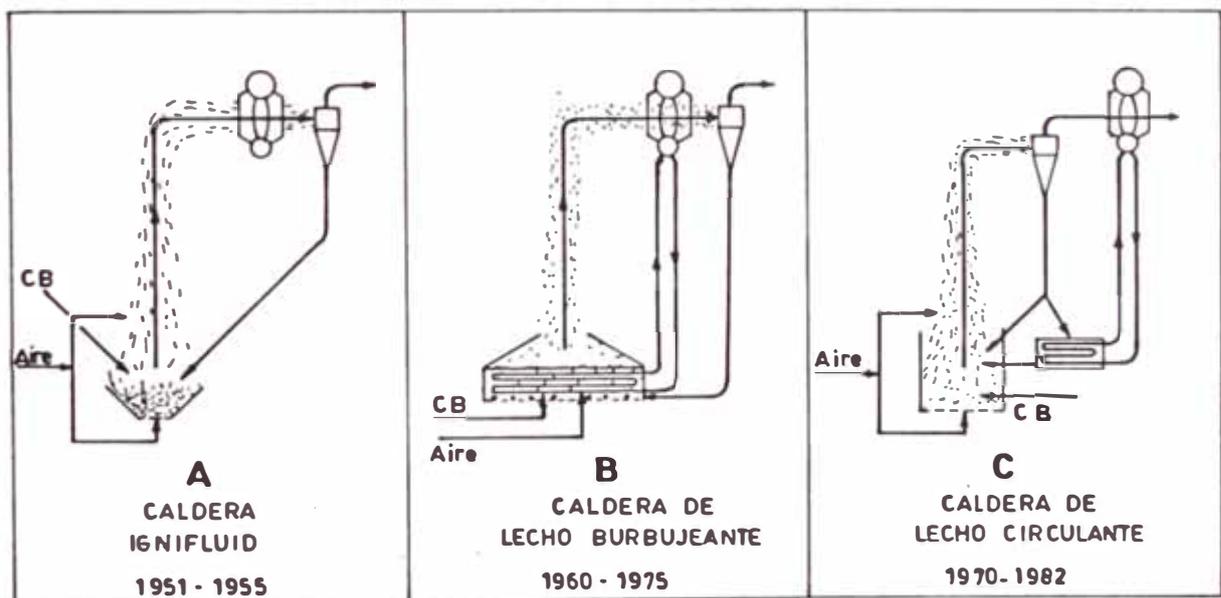
DIFERENTES FORMAS DE CONTACTO DE UN SOLIDO POR UN GAS

El cuadro anterior muestra de un modo general la clasificación de procesos en los cuales tiene lugar las reacciones entre un sólido y un gas.

El criterio para esta clasificación es la velocidad superficial del gas.

Las tecnologías más desarrolladas en relación a la combustión en lecho fluidizado (AFB) son :

1. Ignifluid (Fives Coil Babcock)
2. Lecho fluidizado burbujeante
3. Lecho fluidizado circulante.



PRINCIPALES TIPOS DE FLUIDIZACION

5.2.2.1. Ignifluid (Fives Coil Babcock) - Lecho turbulento

Esta caldera incorpora un lecho fluidizado sobre la parrilla.

Las ventajas y desventajas son :

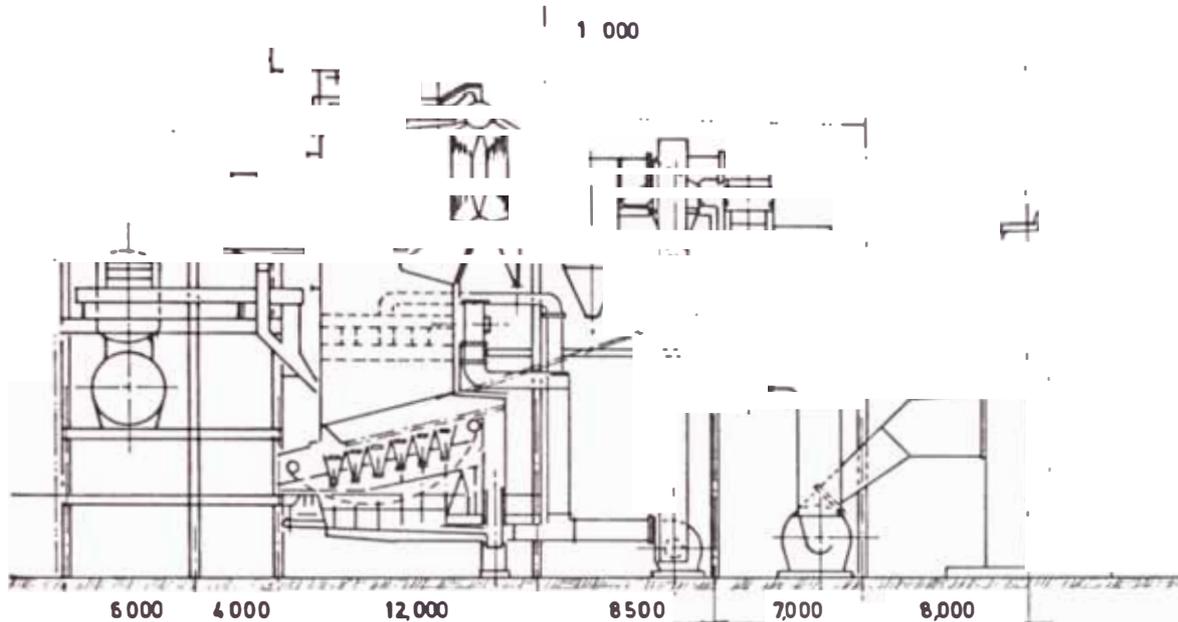
1. Excelente flexibilidad durante rápidas variaciones de carga, debido a la distribución de aire sobre la parrilla y bajo la parrilla.
2. Versatilidad de combustibles
 - Desde carbones de bajo contenido de material volátil, 2% (meta antracita) hasta lignitos con alto contenido de agua.
 - Carbones con hasta 70% de cenizas y de bajo grado, 1800 Btu/lb.
 - El porcentaje de finos puede ser hasta 30% , el tamaño aceptable es usualmente de 10 mm , pero puede llegar hasta 30 mm en ciertos casos
 - Combustibles sólidos como el bagazo, madera, café, etc. con 50% de humedad.
 - Combustible auxiliar (petróleo residual) para combustibles sólidos muy pobres.
- 3 Buena combustión del carbón, más alta que en el lecho burbujeante. Esto es debido al 100% de recirculación.

4. No tubos sumergidos en el lecho, por tanto no existe fallas de tubos por erosión y/o corrosión
5. Poca área de parrilla requerida, fácil alimentación de carbón y extracción de cenizas. El área requerida es mucho más pequeña que para el lecho burbujeante, debido a dos factores:
 - Alta velocidad superficial de los gases
 - El 50% de aire de combustión es introducido a través de la parrilla.
6. Baja formación de NOx.
7. El costo de la caldera Ignifluid es mucho más bajo que el costo de la caldera de lecho burbujeante y más bajo que la caldera a carbón pulverizado.
8. El campo de aplicación de estas calderas están entre 175,000 lbs/hr y 1'500,000 lbs/hr superando ampliamente a los convencionales gratestocker o spreader stocker, para los cuales se requería una adecuada selección del tipo de carbón.

Las desventajas son :

1. La no desulfurización, por lo tanto de ningún modo acepta carbones de alto contenido de azufre.

2. La eficiencia de combustión es un poco menos - que el carbón pulverizado.



REPUBLICA POPULAR CHINA: CALDERA IGNIFLUID PARA QUEMAR CARBON CON 47% DE CENIZAS, LIGNITO, Y BAGAZO.

5.2.2.2. Lecho fluidizado burbujeante

Durante los años 1960 y comienzos de 1970, todo el desarrollo se basó en los reactores denominados Lecho Burbujeante y la principal razón no fué el mejoramiento de las propiedades de combustión, sino la posibilidad de desulfurización en "situ".

El diseño del lecho burbujeante se caracteriza por el denso lecho en el fondo del reactor, como una olla de agua hirviendo, con una clara - fase en la parte superior.

En general, este sistema el lecho, está confinado entre ciertos límites, según la carga (cantidad de aire), la altura típica es de 1 metro y la granulometría máxima del carbón llega a 25 mm, en algunos casos la aceptación de los finos depende de la altura del hogar y la ubicación de los alimentadores.

Existen variedad de diseños de calderas AFB-Burbujeantes, incluyendo tubos de fuego, tubos de agua y combinaciones. Unidades con lechos simples o dobles, poco profundos o profundos con capacidades de hasta 50,000 lbs/hr, 500 Psig para los de tubos de fuego, encima de 50,000 lbs/hr y altas presiones para los de tubos de agua.

La revista POWER, Febrero 1985, (reporte especial) presenta la lista de instalaciones en el mundo con calderas AFB-Burbujeantes y 2,200 unidades más en China.

Las ventajas de los diseños AFB-Burbujeantes son:

1. Combustibles de bajo grado pueden quemarse.
2. Alto coeficiente de transferencia de calor, esto significa que las superficies de transferencia de calor y consecuentemente las calderas mismas son más pequeñas que con carbón pulverizado
3. El mantenimiento de la baja temperatura del le

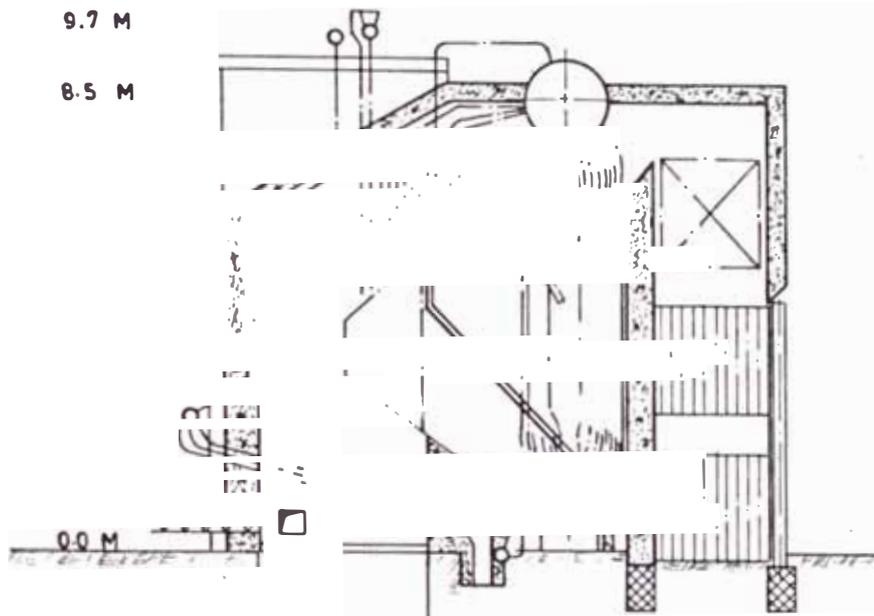
cho, consecuentemente la formación de NO_x es baja y la emisión de SO₂ pueden ser reducidos con la adición de piedra caliza al lecho.

Con buenos carbones es necesario el 80% de retención de piedra caliza en el lecho, para conseguir una emisión estandar de 1.2 lbs.SO₂/millón de Btu. Una regla práctica es que la relación Ca/S = 2 es buena en un nivel de combustión a 1550°F, el consumo de piedra caliza para la relación Ca/S = 2 es 6.25 lbs/lb azufre.

4. La baja temperatura del lecho no permite la formación de escorias de las cenizas contenidas en el carbón.

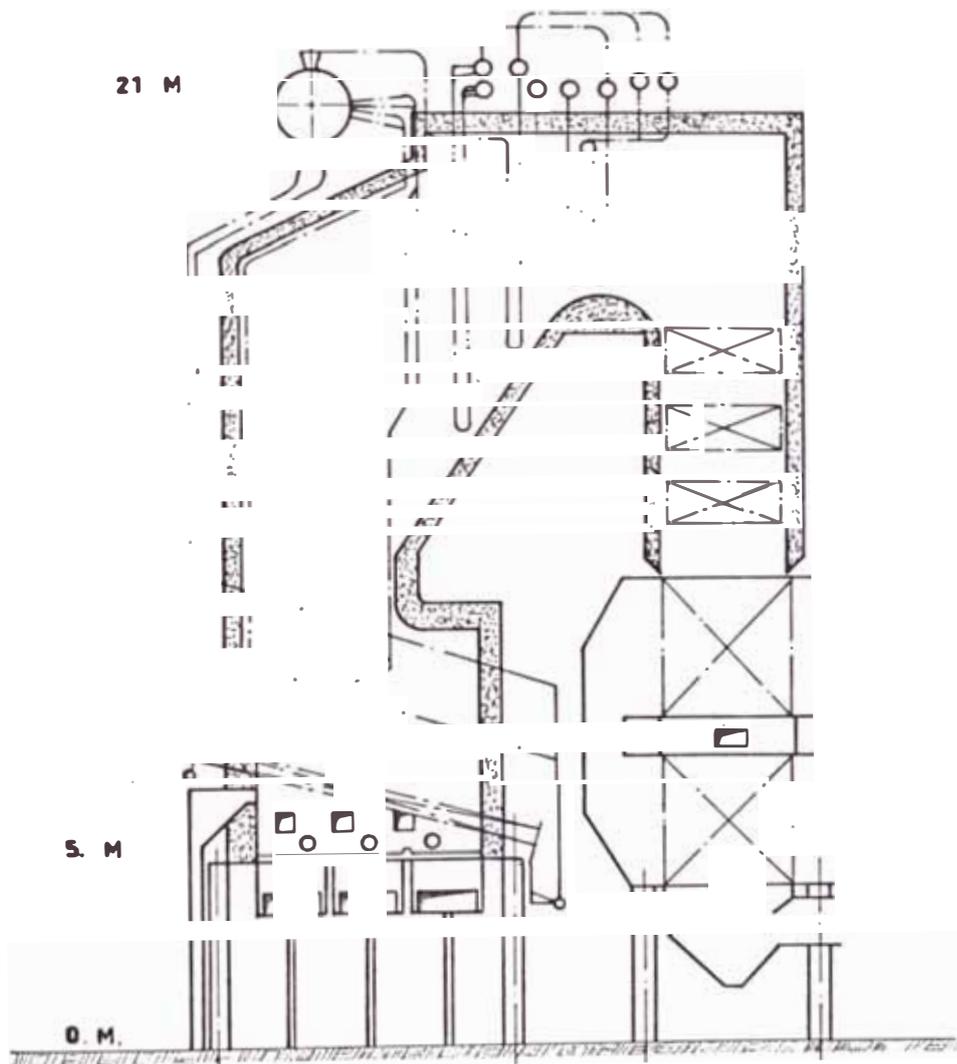
Las desventajas son :

1. Carece de flexibilidad para quemar diversos combustibles sólidos y lograr una operación con carga variable.
2. Erosión y corrosión de los tubos sumergidos en el lecho.
3. La falta de flexibilidad de combustible y el control de polución para unidades AFB-Burbujeante, es un factor limitante para unidades por encima de 200,000 lbs/hr.



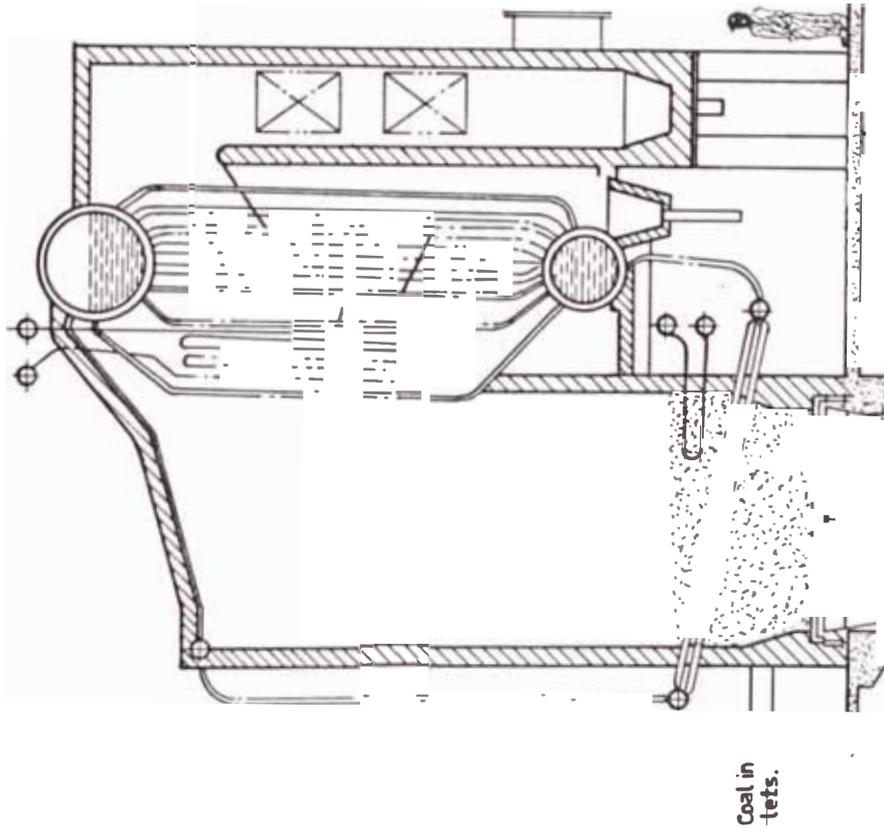
4145 3400 2530

CALDERA DE CIRCULACION NATURAL-CAPACIDAD 35 TN / HR-LECHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE

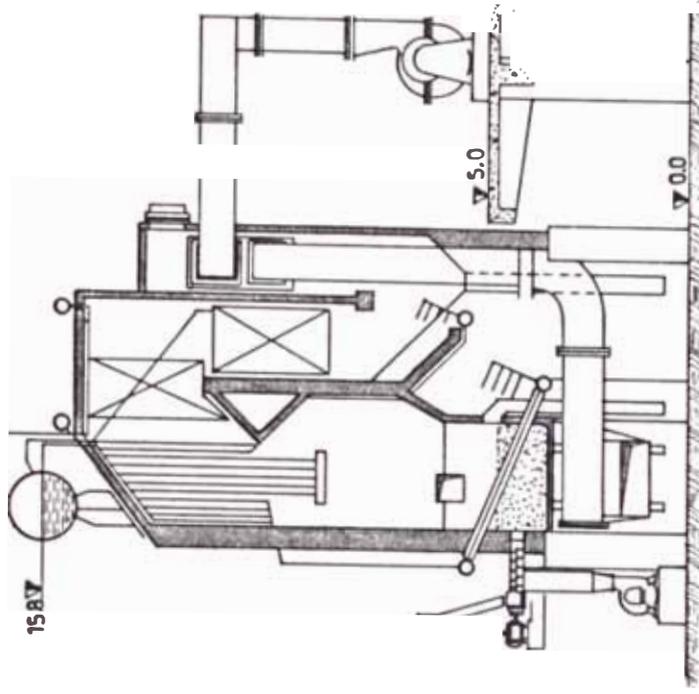


6020 2770 3610

CALDERA DE CIRCULACION NATURAL- CAPACIDAD 130 TN/HR- LECHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE



R.P.C. CALDERA DE LECHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE
24 TN / HR - PARA QUEMAR CARBONES POBRES.



R.P.C. CALDERA DE INGENIO AZUCARERO
CONVERTIDO DE LECHO FIJO A LE-
CHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE -
50 TN./ HR.

5.2.2.3. Lecho fluidizado circulante

El principio estricto del lecho burbujeante no cumplía los requerimientos en lo concerniente a la flexibilidad del uso de varios combustibles. Para superar esta dificultad, el concepto de RE CIRCULACION se estudio con profundidad. Este concepto desarrollado y mejorado es hoy en día la más moderna y eficiente tecnología de com bustión de combustibles múltiples, superando - ampliamente las calderas convencionales, así como las del tipo de lecho burbujeante.

Es así, como muchos fabricantes líderes de calderas en el mundo, han desarrollado el concepto denominado lecho fluidizado circulante CFB, caracterizado por un lecho inferior denso y - una zona superior menos densa. Una fracción - del material se aleja del reactor conjuntamente con el gas y entra a unos separadores tipo ciclón. La mayor parte del material es separa do y reciclado hacia el lecho.

Las ventajas adicionales del diseño de calderas CFB, incluyen los siguientes puntos :

1. Capacidad del uso de diferentes combustibles, debido a la habilidad de alterar el coeficiente de transferencia de calor, por

medio del cambio o variación del lecho desde la parte inferior del horno hacia la parte superior.

2. Mejoramiento de la desulfurización debido a la mezcla interna de la caliza con el combustible y con los gases de la combustión, mayor tiempo de retención y mayor superficie de partículas.
3. Buena capacidad de seguimiento de carga, debido al efecto térmico y la habilidad de alterar la densidad del lecho.
4. Alta eficiencia en la caldera debido al bajo - exceso de aire en la operación y muy bajo carbón sin quemar.
5. Mejoramiento de supresión de NOx.

El diseño conceptual de caldera CFB, toma en cuenta los siguientes aspectos generales.

SISTEMA DE AIRE : La planta de tiro forzado incluye un ventilador principal de tiro forzado y un ventilador tipo "Booster" o elevador de presión de circulación. Este último suministra aire primario a la parte inferior de la cámara de combustión, en donde el aire es entregado a través de boquillas ubicadas en el piso del lecho. El aire secundario es suministrado a través de lumbreras o aberturas para aire, las cuales están localizadas estratégicamente en las paredes arriba de la zona del lecho

denso.

Los dos niveles del sistema de aire maximizan la flexibilidad por un eficiente control de combustión.

ALIMENTACION DEL COMBUSTIBLE : El combustible, la caliza y/o el lecho del material inerte (arena) es almacenada en silos y es introducida a la zona del lecho denso de la cámara de combustión por medio de un conductor de tornillo.

REMOCION DE CENIZA : El remanente y las partículas de cenizas, caliza y/o material inerte del lecho, es controlado removiendo el material foráneo desde la parte inferior de la cámara de combustión y removiendo el material fino desde la parte inferior de los separadores ciclónicos.

FLEXIBILIDAD DEL COMBUSTIBLE : Las calderas de CFB permiten quemar una amplia variedad de combustibles que incluyen carbones desde antracita hasta lignitos, biomasa, lodos, turba, bagazo y RDF. Estos combustibles pueden ser quemados solos o en combinación. Esto permite una gran flexibilidad en seleccionar el combustible más económico sin la necesidad de realizar cambios físicos en la unidad.

Carbón con alto contenido de azufre es generado en estas unidades, cumpliendo con las normas o codi-

digos correspondientes, sin la adición de lavados o limpiadores para SO_2 . La desulfurización es llevada a cabo alimentando caliza conjuntamente con el combustible.

Carbón con baja temperatura de fusión de cenizas y turba, son quemados en los CFB, sin la producción de escorias, ya que estas calderas operan a temperaturas muy inferiores al punto de fusión de ceniza.

Combustibles con alta producción de cenizas son ideales para estas unidades, ya que la ceniza inherente forma parte del material inerte del lecho. El llamado combustible RDF (refuse derived fuel) se quema con éxito.

Combustibles con unidades altas son quemados sin ninguna dificultad, ya que existe un gran depósito de calor para secar la humedad del combustible.

PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE : Una de las principales ventajas de los diseños CFB es su habilidad para minimizar el impacto sobre el medio ambiente, atacando el problema desde su mismo origen.

- El control de NO_x (óxidos de nitrógeno). La combustión en estas unidades se efectúa a temperaturas relativamente bajas, muy por debajo de

los que producen altos niveles de NOx.

- Control de dióxido de azufre (SO₂). Cuando se queman combustibles con alto contenido de azufre en las calderas CFB, el SO₂ es capturado en la cámara de combustión al introducir caliza con el combustible. Además, las calderas operan a óptimas temperaturas para absorber el azufre. El promedio de la caliza de relleno o reemplazado es bajo, debido al largo tiempo de retención creado por la circulación de las partículas de cal

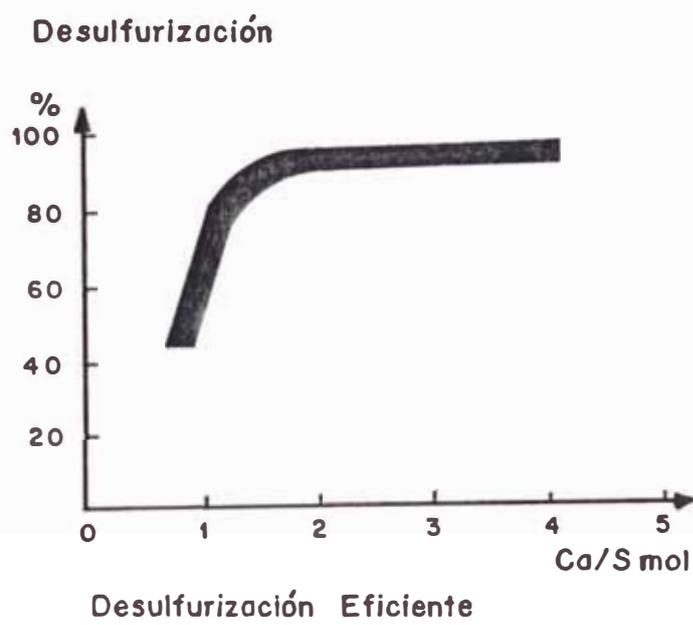
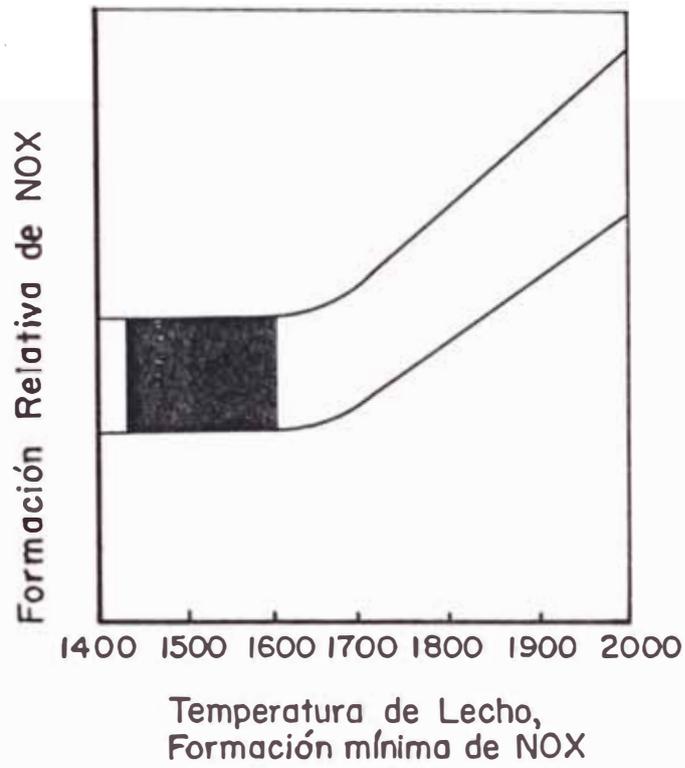
BENEFICIO ECONOMICO : Las calderas CFB queman una amplia variedad de combustibles. Esto permite la utilización de las fuentes más económicas de combustible. El usuario no es dependiente del suministro de un solo tipo de combustible.

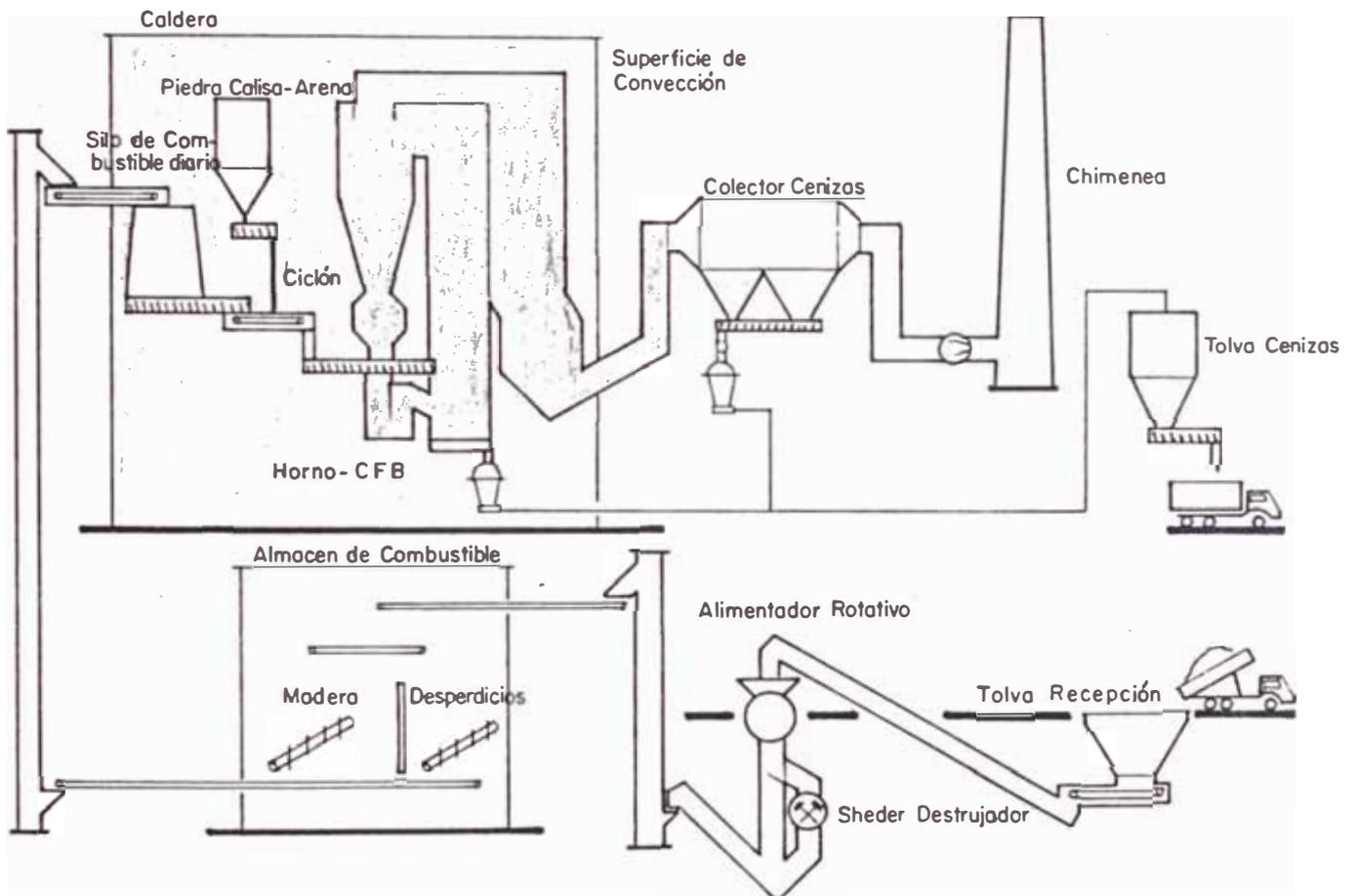
Las unidades CFB, son compactas y consecuentemente el costo de instalación es menor que las calderas convencionales.

No es necesario el uso de costosas lavadoras de SO₂. Se necesita sólo una preparación del combustible, para la quema del carbón es suficiente el triturado.

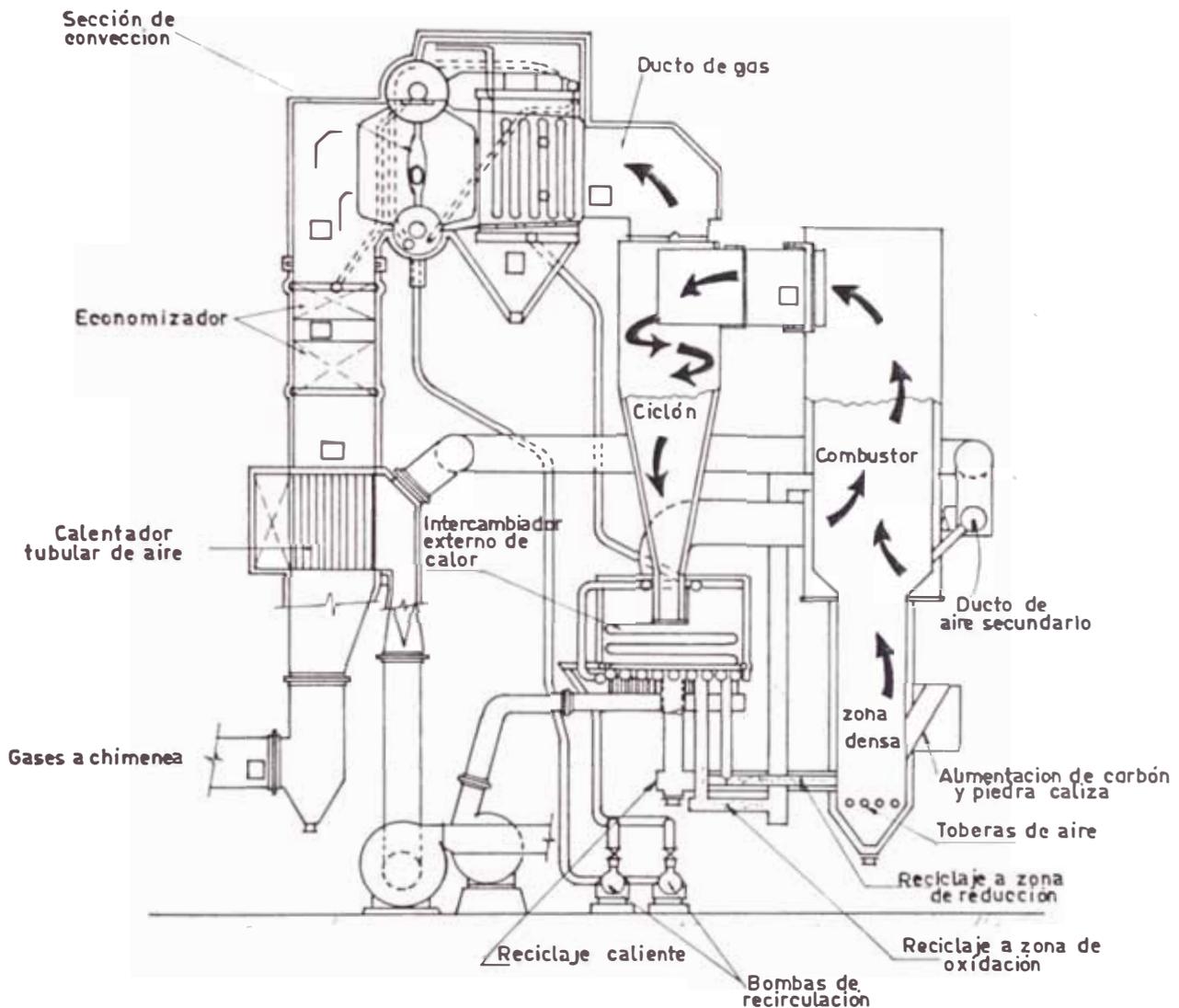
La eficiencia de las calderas CFB son altas, tanto el exceso de aire y el combustible no quemado se mantienen en niveles muy bajos, como también la

temperatura de salida de gases.

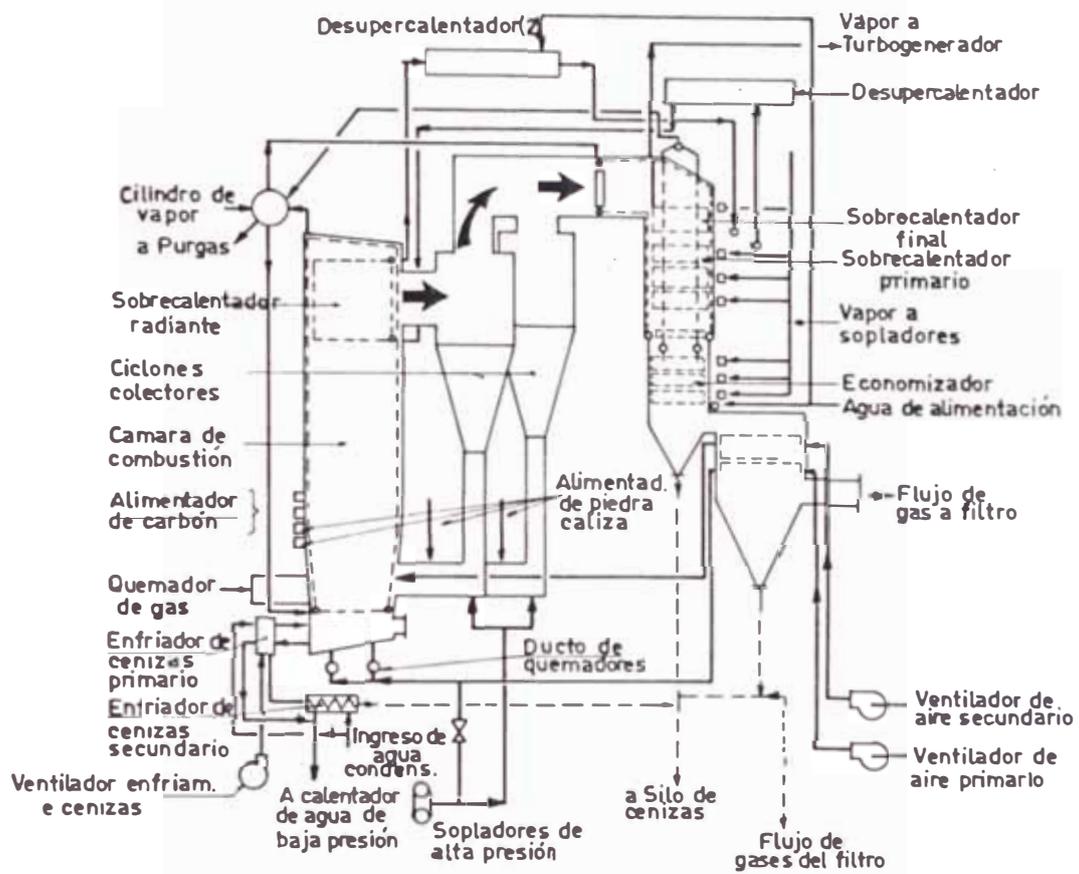




Planta Completa GCFB en SUNDSVALL, Suecia
 Quemando RDF / Desperdicio de Madera / Turba / Carbón



CALDERA DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE
MÚLTIPLES COMBUSTIBLES SÓLIDOS DE 150.000 Lb/hr.
700 PSIG. 755° F.



MODERNA CALDERA DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE
CAPACIDAD: 925.000 Lb/Hr. 1510 PSIG. 1005°F.

CAPITULO 6

FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DEL USO DEL CARBON ANTRACITA EN CALDERAS DE INGENIOS AZUCAREROS E INDUSTRIA PAPELERA TRUPAL DEL DPTO. DE LA LIBERTAD

El carbón antracita del Alto Chicama siempre ha sido visto con mucho interés por profesionales, entidades nacionales y extranjeras, conocedores de la situación energética del país y por supuesto con mayor ambición por sectores productivos de la región, tales como: Cooperativas Azucareras Casagrande, Cartavio, Laredo, Tableros Peruanos y la Industria Papelera Trupal.

Estudios efectuados por entidades oficiales reportan Reservas potenciales del Alto Chicama (Otuzco, Santiago de Chuco, Huamachuco, Usquil, Quiruvilca) 270'000,000 TM
Características de la Antracita del Alto Chicama.

Análisis aproximado :

Humedad	%	8 - 6
Carbón fijo	%	79 - 68
Volátiles	%	3 - 5
Cenizas	%	10 - 20
Azufre	%	0.5 - 1.0

Poder calorífico superior, Btu/lb 11,000-13,000

Triturabilidad, promedio : 40.5 (39.3 - 44.12)

Punto de fusión de las cenizas: Normal ... : 1440°C

Muy raramente: 1330°C

Punto de ablandamiento de las cenizas : 1260°C

Indice de hinchamiento : 0

Acceso al área de uso : 200 Kms de Trupal (más lejos)

Además : Porcentaje de antracita peruana : 74%

Porcentaje de antracita en el mundo: 6%

Los ingenieros y técnicos de las CAAs.: Casagrande, Cartavio, Laredo y Tableros Peruanos, han efectuado estudios preliminares para quemar carbón antracita del Alto Chicama en sus calderas.

Actualmente Tableros Peruanos quema carbón antracita pulverizado mezclado con polvillo de madera (tableros comprimidos de bagazo) en un horno auxiliar, previamente implementado en una caldera de tubos de fuego de baja presión.

En los años 1985, cuando el precio del petróleo estaba en US\$ 0.70/galón (muy cerca al precio internacional US\$ 0.80/galón), las CAAs. Cartavio y Laredo han efectuado implementaciones para quemar carbón antracita en sus calderas, sin mayores modificaciones de su diseño original de las calderas bagaceras y petroleras, propias de la industria azucarera.

La CAA Laredo han efectuado pruebas de quemado de carbón pulverizado, con resultados no satisfactorios.

La CAA Cartavio ha elaborado el "Proyecto carbón Cartavio 1985", el mismo que llegó a la etapa de experimentación y uso en varias de sus calderas, con resultados favorables económicamente, aunque con una serie de problemas de orden técnico. El método de combustión aplicado fué el de lecho fijo o sobre parrilla (Spreader Stocker)

La industria Papelera Trupal, tomando como base las experiencias logradas en el "Proyecto carbón Cartavio 1985", ha efectuado estudios de ingeniería para usar el carbón antracita del Alto Chicama como combustible alternativo al petróleo, en sus actuales instalaciones.

6.1. QUEMA DE CARBON COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL PETRO - LEO Y/O BAGAZO EN CALDERAS DE INGENIOS AZUCAREROS METODO DE COMBUSTION EN LECHO FIJO

Las calderas bagaceras de la industria azucarera, tienen mayores posibilidades de quemar carbón.

Las CAAs. Casagrande, Cartavio y Laredo cuentan con instalación de calderas antiguas y modernas que queman exitosamente bagazo hasta con 55% de humedad. Estas calderas son bagaceras y petroleras.

El quemado de bagazo es una combinación de la combustión del combustible sobre la parrilla (lecho fijo) y en suspensión (lecho turbulento) y se asemeja mucho a la ignifluid. El aire primario es su

ministrado por debajo de la parrilla y el aire secundario que sirve para completar la combustión y crear la turbulencia del bagazo que es suministrado estratégicamente sobre la parrilla.

- La alimentación de bagazo al horno se efectúa a través de alimentadores y distribuidores. El distribuidor de bagazo en el horno puede ser mecánico o neumático.
- La eliminación de las cenizas se efectúa a través de las parrillas que pueden ser viajeras, -vocables fijas, inclinadas, vibrantes o recíprocas.
- Estas calderas están equipadas con reinyectores de cenizas y bagazo no quemado y colectores de cenizas para proteger el ventilador de tiro inducido y el medio ambiente.
- Las calderas bagaceras están generalmente equipadas con calentadores tubulares de aire y/o con economizador.

A diferencia de las calderas netamente petroleras, las bagaceras trabajan con un tiro en el horno cero o negativo de hasta 4" H₂O de vacío y un fuerte tiro inducido para evacuar los gases de combustión y el vapor de agua de la humedad del bagazo.

Por las características especiales de estas calderas para quemar combustibles sólidos (bagazo) es

posible quemar carbón por el método de combustión en lecho fijo o sobre parrilla y por supuesto con algunas limitaciones de orden técnico. Sobre esta posibilidad se han hecho consultas técnicas a los fabricantes de calderas, tales como: Distral (Colombia), Combustion Engineering Inc. (Canadá), los mismos que han dado opiniones favorables, pero con carbones bituminosos y con algunas limitaciones.

De este modo, siendo viable la posibilidad de contar con carbón antracita como combustible alternativo en la sustitución del petróleo y/o bagazo, propendiendo así a minimizar el uso de petróleo y hacer disponible más bagazo para fines industriales (bagazo para Trupal).

La CAA Cartavio ha efectuado la implementación del método de Spreader Stocker en una de sus calderas. Posteriormente, después de los primeros ensayos efectuados se implementó otra unidad de mayor capacidad.

6.1.1. Caso específico del "Proyecto carbón Cartavio 1985" efectuado en la Cooperativa Azucarera Cartavio

Quema de carbón antracita en la caldera N° 17 - Cartavio.

Marca de la caldera: Combustion Engineering

Tipo: VU-30, año de montaje : 1951

Combustible : bagacera y petrolera

Capacidad de generación: 100,000 lbs/hr., 600 Psig
700°F

Datos generales :

Entalpía vapor de salida : 1353 Btu/lb

Entalpía agua alimentación: 208 Btu/lb (240°F)

Energía requerida por la caldera: $1353 - 208 = 1145$
Btu/lb

Total energía requerida por la caldera :

para 100% de carga (100,000 lbs/hr) = 114.5×10^6
Btu/hr
= 2748×10^6
Btu/día

PETROLEO

Poder calorífico : 18500 Btu/lb = 148,000 $\frac{\text{Btu}}{\text{galón}}$

Eficiencia de la caldera: 80%

Energía útil del petróleo: 0.1184×10^6 Btu/galón

Consumo específico de petróleo: 103 lbs-vapor/galón
petróleo

Consumo de petróleo con 100% carga: 970 gls/hr

BAGAZO

Poder calorífico : 4,140 Btu/lb (50% humedad)

Eficiencia de la caldera: 55%

Consumo específico de bagazo: 2 lbs-vapor/lb bagazo

Energía útil del bagazo : 5.02×10^6 Btu/Tn bagazo

Consumo de bagazo con 100% carga: 22.8 Tn/hr.

AIRE PARA PETROLEO

Aire teórico : 750 lbs/MBtu

$$750 \frac{\text{lbs}}{\text{MBtu}} \times 1850 \frac{\text{Bt}}{\text{lb}} = 13\,875 \frac{\text{lbs aire}}{\text{lb petroleo}}$$

Exceso de aire : 20%

Aire total requerido: 900 lbs/MBtu = 16.65 $\frac{\text{lbs aire}}{\text{lbs petroleo}}$

AIRE PARA BAGAZO

Aire teórico : 680 lbs/MBtu

$$680 \frac{\text{lbs}}{\text{MBtu}} \times 4140 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} = 2.8 \frac{\text{lbs.aire}}{\text{lb.bagazo}}$$

Exceso de aire : 35%

Aire total requerido: 925 lbs/MBtu = 3.78 $\frac{\text{lbs aire}}{\text{lb bagazo}}$

CAPACIDAD DE LOS VENTILADORES

Tiro forzado(IF) a 100°F : 35,000 CFM - 4" H₂O S.P
= 155,000 lbs/hr

Tiro inducido (ID) a 470°F : 80,000 CFM - 3" H₂O S.P
= 205,000 lbs/hr

Aire requerido para una carga

del 100% con petróleo : $900 \frac{\text{lbs}}{\text{MBtu}} \times \frac{114.5 \times 10^6 \text{ Btu/hr}}{0.8} = 130,000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

Aire requerido para una carga

del 100% con bagazo $925 \frac{\text{lbs}}{\text{MBtu}} \times \frac{114.5 \times 10^6 \text{ Btu/hr}}{0.35} = 190\,000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

La máxima capacidad de la caldera del bagazo es:

$$155/190 = 80\% = 80,000 \text{ lbs/hr}$$

CONSIDERACIONES PARA QUEMAR CARBON EN LA CALDERA

Método aplicado: Combustión en lecho fijo o sobre parrilla (Spreader Stocker)

Area de la parrilla: $18' \times 21' = 216 \text{ pie}^2$

Tipo de parrilla : volteo (neumático)

Valor permisible de liberación de calor para carbon
nes adecuados parrilla de volteo $450,000 \frac{\text{Btu}}{\text{hr-pie}^2}$

Tipo y tamaño de carbón: Antracita granulado de 5 mm \emptyset a 20 mm \emptyset con muy pocos finos.

Poder calorífico del carbón: 12,000 Btu/lb

Aire teórico : $785 \frac{\text{lb}}{\text{MBtu}} \times 9.5 \text{ lb aire/lb carbón}$

Exceso de aire (30% - 60%) = 50%

Aire total requerido: $1,180 \frac{\text{lbs}}{\text{MBtu}} = 14.25 \frac{\text{lbs aire}}{\text{lbs carbón}}$

Capacidad de la parrilla: $\frac{450,000 \text{ Btu/hr-pie}^2 \times 216 \text{ pie}^2}{12,000 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times 2205 \frac{\text{lb}}{\text{ton}}} = 4 \frac{\text{ton}}{\text{hr}}$

Aire requerido para quemar 4 Tn/hr de carbón antracita = $14.75 \frac{\text{lbs-aire}}{\text{lbs carbon.}} \times 4 \frac{\text{Tn carbón}}{\text{hr}} \times 2205 \frac{\text{lb/ton}}{126,000 \text{ lbs/hr}} =$

Eficiencia de la caldera = 60% (asumida)

Energía útil de carbón = $15.88 \times 10^6 \text{ Btu/Ton}$

Consumo de carbón(máximo) = 4 Ton/hr

Energía útil del carbón (4 ton/hr) $63.53 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$

Máxima capacidad de la caldera con carbón es :

$$63.53/114.5 = 55\% = 55,000 \text{ lbs/hr}$$

COMBUSTION-CARBON-BAGAZO

Carbón (75% del máximo) = 3 Ton/hr

Aire requerido para quemar
3 ton/hr de carbón = 82,680 lbs/hr

Aire sobrante para quemar
bagazo = 72,390 lbs/hr

Cantidad de bagazo quemado = 9 Ton/hr

Energía útil del carbón :

$$3 \frac{\text{Tn}}{\text{hr}} \times 12,000 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times 0.6 \times 2205 \frac{\text{lbs}}{\text{Tn}} = 47.6 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

Energía útil del bagazo :

$$9 \frac{\text{Tn}}{\text{hr}} \times 4140 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times 0.55 \times 9205 \frac{\text{lbs}}{\text{Tn}} = 45 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

Total energía útil con carbón y bagazo = 92.6×10^6 Btu/hr

Vapor generado con carbón y bagazo = $92.6/1145 =$
80% = 80,000 lb/hr

CARBONES QUEMADOS EN LA CAA CARTAVIO

1. Procedencia : Baños Chimu (Bajo Chicama)

Costo : US\$ 40/ton.

Análisis aproximado :

Carbón fijo % : 72.42

Volátiles % : 4.29

Cenizas % : 18.29

Humedad % : 5.0

Azufre % : 0.5

Poder calorífico Btu/lb : 11,330

2 Procedencia: Ambará (Alto Chicama)

Costo : US\$ 45/Ton

Análisis aproximado :

Carbón fijo % : 91.0

Volátiles % : 2.14

Cenizas % : 2.93

Humedad % : 3.86

Azufre % : 0.3

Poder calorífico Btu/lb : 14,086

3. Procedencia: Santiago de Chuco (Alto Chicama)

Costo : US\$ 45/Ton

Análisis aproximado :

Carbón fijo % : 71.18

Volátiles % : 8.85

Cenizas % : 16.93

Humedad % : 3.04

Azufre % : 0.67

Poder calorífico Btu/lb : 12,333

COMPARACION DE COSTOS: CARBON-PETROLEO (1985)

Costo del carbón en Planta: US\$ 45/Ton

Energía útil del carbón : 15.8×10^6 Btu/Ton

Costo del millón de Btu = $\frac{\text{US\$ } 45/\text{Ton}}{15.8 \times 10^6 \text{ Btu/Tn}}$ US\$ 2.85/MBtu

Costo del petróleo : US\$ 0.73/galón

Energía útil del petróleo: 0.1184×10^6 Btu/gls

$$\text{Costo del millón de Btus} = \frac{\text{US\$ } 0.75/\text{galón}}{0.1184 \times 10^6 \text{ Btu/carbón}} - \text{US\$ } 6.0/\text{MBtu}$$

Ahorros obtenibles: $6 - 2.85 = \text{US\$ } 3.29/\text{MBtu}$

COSTO DEL BAGAZO

El costo de venta del bagazo depende de la oferta y demanda de la producción de papel a partir del bagazo. El costo de venta se ha fijado a partir del equivalente calórico con el petróleo :

$$\left(46.62 \frac{\text{galones.petróleo}}{\text{Tns.bagazo}} \right)$$

El precio que paga Trupal varía de un mínimo de :

46.62 gal/ton ; bagazo = US\$ 34/ton (1985 US\$ 0.73 /gln)

hasta un máximo de 90 galones/Ton.

bagazo = US\$ 16.2/Ton (julio 1990 US\$ 0.18/gln. de petróleo)

COMPARACION DE COSTOS CARBON-BAGAZO

Costo del carbón : US\$.45/Tn

Energía útil del carbón: 15.8×10^6 Btu/Ton

Costo del bagazo (mínimo ofertable): US\$.30/Ton (asumido)

Energía útil del bagazo: 5.02×10^6 Btu/Ton.

Equivalencia térmica: ton.carbón = 3.15 ton.bagazo

Por cada tonelada de carbón que se quema se dispone de 3.15 ton. de bagazo para venta.

- Costo de quemar una tonelada de carbón es :

US\$.45/Ton.

El costo que se puede vender el bagazo equivalente es: $3.15 \times 30 = \text{US\$ } 94,5$

- La ganancia que se puede conseguir por cada tonelada de carbón quemado es: $94.5 - 45 = \text{US\$ } .50$ /Ton.carbón (redondeando)

AHORROS OBTENIDOS DE QUEMAR CARBON ANTRACITA EN LAS CALDERAS DE LA CAA CARTAVIO (1985)

Carbón quemado por día	= 40 Tns.
Costo del carbón	= US\$ 1800
Costo equivalente del petróleo (US\$ 0.73/galón)	= US\$ 4088
Ahorro diario	= US\$ 2'288

La CAA Cartavio ha quemado 5,000 toneladas de carbón antracita durante 6 meses, con un promedio de 18 a 20 ton/día, llegando en algunos días hasta 40 toneladas. El resto de la generación se ha completado con petróleo y/o bagazo.

6.1.2. Experiencias logradas y conclusiones del - "Proyecto Carbón Cartavio 1985"

Estas experiencias y conclusiones se pueden resumir dentro de los siguientes aspectos :

1. Suministro de carbón
2. Comportamiento del carbón

3. Comportamiento de la caldera
4. Ahorros esperados
5. Aspectos técnicos

SUMINISTRO DE CARBON

Fué necesario aplicar una política de difusión del uso del carbón para despertar el interés en los proveedores (dueños de minas e intermediarios).

El aprovisionamiento del carbón tiene que ser oportuno y previsorio, porque en el período de avenida o lluvia es imposible bajar una tonelada de carbón del Alto Chicama.

Fué necesario hacer una especie de concesiones y/o contratos temporales con los mineros carboneros para conseguir la cantidad y el tamaño del carbón requerido.

La infraestructura vial (carreteras) sólo permite traer el carbón del Alto Chicama en volquetes de 5 a 8 toneladas y solamente en tiempos de sequía.

Concluyendo, el suministro de carbon es uno de los primeros aspectos que se tiene que tomar en cuenta para el éxito de cualquier próposito de sustitución.

COMPORTAMIENTO DEL CARBON

Se ha observado los colores de la llama de combus-

ti3n del carb3n en el horno: la llama m3s predominante es de color amarillo y en algunas zonas el color de la llama es blanco. Esto comparado con la escala de colores de la temperatura (amarillo : 1100-1200°C, blanco 1300°C) indican que la temperatura de combusti3n del carb3n est3 entre 1100-1200°C.

Por otro lado, los hornos con bagazo est3n alrededor de 1100°C. En algunas zonas, las cenizas llegan a plastificarse (fundirse) form3ndose tortas dif3ciles de extraer.

Un an3lisis de las cenizas indica :

Oxido de fierro, Fe_2O_3	= 0.06%
Oxido de aluminio, Al_2O_3	= 4.51%
S3lice insoluble, SiO_2	= 2.11%

El contenido de azufre en la antracita del Alto Chicama no es muy alto, por lo tanto, no es muy perjudicial para la caldera.

Los finos del carb3n no llegan a combustionar en forma completa, m3s a3n cuando se quema con bagazo el carb3n volador (finos) no quemados, ocasionan problemas de abrasi3n en las superficies de convecci3n de la caldera. Al mismo tiempo la acumulaci3n de finos del carb3n no quemados en algunas zonas es un serio peligro, por cuanto la combusti3n de estos finos ocasiona fallas o quemaduras del material (tubos de generaci3n, calentador

de aire, ductos, etc.)

La reinyección de la ceniza voladora conteniendo carbón no quemado es otro aspecto que minimiza el problema de abrasión y polución del medio ambiente e incrementa la eficiencia de la caldera.

El comportamiento de la antracita del Alto Chicama es muy heterogénea y difícil, debido al alto contenido de cenizas y la baja temperatura de fusión de las cenizas.

COMPORTAMIENTO DE LA CALDERA

Obviamente, la quema de carbón en una caldera bagacera crea serios problemas de orden técnico, tanto en la operación y control de combustión, como en el comportamiento mismo de la unidad.

- La capacidad de la caldera disminuye por falta de área de la parrilla.
- La mayor temperatura en el horno ocasiona fallas en las parrillas y los refractarios del horno.

La quema de carbón en una caldera que no ha sido diseñada para tal fin, requiere sumo cuidado del comportamiento y las posibles fallas, de otro modo se corre el riesgo de inutilizar la unidad.

AHORROS ESPERADOS

Los ahorros esperados con la quema de carbón dependen básicamente de lo siguiente :

- Disponibilidad y precio del carbón
- Precio del petróleo
- Mejor posibilidad de uso del bagazo como materia prima de otras industrias.

Los ahorros esperados podrían ser mejores con carbones bituminosos importados que se ofertan hasta en US\$.15/Ton. (FOB).

ASPECTOS TECNICOS

Es necesario contar con un laboratorio básico - (incluido bomba calorimétrica para carbón) para poder determinar el análisis aproximado y el poder calorífico del carbón.

- La información inmediata del análisis aproximado del carbón permitiría establecer una fórmula para el precio del carbón con premios y castigos. Se requiere de capacitación de personal a todo nivel

6.1.3. Posibilidad de ampliar, mejorar y aplicar las experiencias del proyecto en otras industrias del sector.

En base a las experiencias conseguidas en el proyecto en mención la misma CAA Cartavio está interesada en quemar carbón en todas sus calderas.

Para tal efecto, ha solicitado consulta y asesoría técnica a Combustion Engineering Inc., fabricantes de 4 de sus 6 calderas.

El mayor interés es quemar carbón en su caldera de mayor capacidad (Combustion Engineering VU-40 de 275,000 lbs/hr, 600 Psig, 700°F).

La respuesta a la consulta es que dicha caldera está también diseñada para quemar carbón bituminoso pulverizado, faltando adquirir todos los equipos para carbón. En lo referente a quemar carbón antracita granulado sobre la parrilla también es posible, previas modificaciones sustanciales.

La quema de carbón en calderas petroleras (Trupal) técnicamente no es posible, salvo que se tenga que modificar la caldera (conversión). Bajo este aspecto, empresas como Trupal tiene en proyecto la adquisición de una nueva unidad con tecnología más avanzada para quemar combustibles múltiples.

6.2, PROYECTO DE ADQUISICION E INSTALACION DE UNA CALDERA DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE DE 250,000 LBS/HR, 600 PSIG, 700°F - SOCIEDAD PARAMONGA LTDA. FCA. TRUPAL

6.2.1. Esquema general del Proyecto

El costo de la energía en las operaciones de S.P.L. Trupal representa el 15% del costo total de producción y también uno de los más fuertes factores del costo, reducirlo es significativamente relevante por el incremento del nivel de competitividad del producto (papel) en relación con la competencia.

Dada la diferencia de precio entre el carbón y el costo real del petróleo, es digno la posibilidad de sustitución del petróleo por carbón, cuyo costo basado en la equivalencia calórica es bastante barata

Esta sustitución tiene algunos problemas de carácter logístico, técnico, financiero, etc. que requiere solución, lo cual constituye el objetivo principal del presente capítulo.

El presupuesto de producción del plan empresarial de Trupal en los últimos cinco años fué :

Años :	1986	1987	1988	1989	1990
Producción papel presupuestada (TMA)	50,330	55,960	58,140	60,790	64,160

La producción real de papel en Trupal en los últimos cinco años fué :

Producción papel real (TMA)	56,778	67,003	60,285	28,865	--
-----------------------------	--------	--------	--------	--------	----

El Presupuesto del Plan Empresarial de Trupal para los próximos cinco años será :

	Años:	1991	1992	1993	1994	1995
Producción de papel presupuestada (TMA) (asumido)		50,000	--	--	--	--

S.P.L.Trupal hasta fines del año 1989, sus operaciones industriales los realizaba con energía eléctrica comprada de Hidrandina (ELECTROPERU), generando vapor de 550 Psig, que luego se reduce a 150 Psig, para procesos, y el turbogenerador fuera de servicio, porque el costo de la energía generada a partir del vapor producido con petróleo, era superior al comprado de Hidrandina.

Como consecuencia del fuerte incremento en el costo de la energía eléctrica por parte de ELECTROPERU (30% D.L. y 60% I.S.C.) y el subsidio sostenido en el precio del petróleo a US\$ 0.18/galón por parte del gobierno. El costo de la energía generada con el turbogenerador resulta ser más económico; - de este modo desde 1990 las operaciones industriales de Trupal se efectúan con la generación propia (turbogenerador).

La forma de operación en los años siguientes dependerá del precio real del petróleo (PETROPERU) y tarifa eléctrica (ELECTROPERU). Aún en el supuesto

caso que en los próximos años la energía eléctrica de Hidrandina resulte ser más barata, las operaciones de Trupal no podrán ser garantizadas si no se superan las continuas restricciones y fallas en el suministro de energía eléctrica por parte de ELECTROPERU, por la actual crisis energética que vive el país. Bajo este contexto, la autogeneración eléctrica es y será la solución por algún tiempo para Trupal y con el vapor producido con carbón, la situación será favorable (siempre y cuando el precio del petróleo recupere al real US\$ 0.80/galón).

S.P.L. Trupal ha gastado aproximadamente para generar vapor y comprar electricidad de ELECTROPERU :

Años	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Producción	39,433	56,778	67,003	60,285	--	--
Costo total US\$	6'085,000	--	--	5'400,000	--	--
\$/T.P.V.	154	--	--	90	--	13.3

En las operaciones actuales (1990) los consumos de energía en Trupal son como sigue : (expresados en función de las toneladas de papel vendible)

Energía eléctrica:	10×10^6 Btu/T.P.V ...	36%
Energía termica :	11.84×10^6 Btu/T.P.V ...	54%
Energía total :	21.84×10^6 Btu/T.P.V ...	100%

El consumo de petróleo también expresados en función de las toneladas de papel vendible es :

$$\frac{21,84 \times 10^6 \text{ Btu/T.P.V}}{0,148 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{Gls}} \times 0,8} = 185 \text{ Gls/T.P.V}$$

El costo total de la energía expresados también - en términos de T.P.V, con el precio actual del petróleo US\$ 0.18/galón, es :

$$185 \times 0,18 = \text{US\$} .33/\text{T.P.V}$$

El costo real con el precio internacional del petróleo será : (US\$ 0.8/galón)

$$185 \times 0,8 = \text{US\$} 148/\text{T.P.V}$$

6.2.1.1. Tipo y precio del carbón

Los productores de carbón muestran al cisco con granulometría de 0 a 1/4" (hasta 50% de finos) como el precio más bajo y tomando a esto - como base resulta :

TIPO DE CARBON	VECES MAS CARO QUE CISCO
1/4" - 1/2"	1.10
1/4" - 1.1/2"	1.65
1.1/2" - 2.1/2"	2.05
2.1/2" - 4"	3.85

Desde que el cisco es barato y existe tecnología a adecuada para su combustión, se puede concluir que por su abastecimiento y economía, lo más adecuado para el proyecto es el carbón antracita, tal como sale de la mina, es decir tiras y trozos de diferentes tamaños, lo que obliga a un ligero tratamiento de la porción de trozos.

En relación al precio, se tiene la certeza de que el precio puesto en boca mina, con un margen razonable de utilidad estaría alrededor de US\$.10/TM. El transporte tal como se efectúa en la actualidad con camiones está en alrededor de US\$ 0.04/TM-KM - virtual más US\$ 4.60/TM por distancia menor de - 400 KM, con lo que considerando una distancia de 360 KM virtuales, como máximo entre mina y planta, daría un costo total de carbón de US\$.29/TM. Este precio es un estimado ideal para el proyecto y se deberá tener presente las posibilidades de fuertes fluctuaciones de precios, por el precio considerado para la evaluación del presente estudio es US\$.33/TM de carbón puesto en planta (cisco).

6.2.1.2. Selección de la tecnología

Teniendo en consideración que se usará - antracita, tal como sale de la mina y de acuerdo a las diferentes tecnologías mencionadas en el cap1

tulo anterior, de acuerdo también al tipo de carbón seleccionado; existen dos posibilidades tecnológicas :

Calderas con carbón pulverizado

Calderas con lecho fluidizado

De las dos se ha seleccionado el lecho fluidizado por las siguientes razones :

- En el sistema de carbón pulverizado es necesario un consumo adicional de petróleo para mantener la combustión, por el bajo contenido de volátiles de la antracita, lo que no sucede con el sistema de lecho fluidizado.
- Por el nivel de molienda necesario en el sistema de carbón pulverizado se llega a un mayor costo de inversión, debido a los molinos necesarios y a la mayor dimensión del hogar por la disposición de los quemadores, además a un costo adicional de mantenimiento que demandan los molinos por la dureza del carbón.
- Las calderas de carbón pulverizado ofrecen una tecnología probada con cualidades de operación excelentes, tales como rapidez en seguir las fluctuaciones de carga y el nivel mínimo de carga de operación, similar a las calderas de petróleo.

Con las calderas de lecho fluidizado se puede -

obtener los mismos resultados por medio de lechos múltiples.

Estas últimas referencias a los beneficios del sistema de carbón pulverizado, no compensan a la menor inversión y menor costo de operación (por no usar petróleo y reducir los gastos de mantenimiento, en lo relacionado a molienda) de las calderas de lecho fluidizado.

Aunque condicionalmente se ha seleccionado el sistema de lecho fluidizado, sin embargo en él se presentan varias alternativas, de las cuales las mas aparentes para nuestro tipo de carbón seleccionado son :

- a) Lecho fluidizado burbujeante
- b) Lecho fluidizado circulante

Las calderas de lecho fluidizado burbujeante con hogares altos y los de lecho fluidizado circulante pueden operar con cualquier concentración de finos y una granulometría hasta 50 mm \emptyset , por tal motivo el equipo de molienda es poco sofisticado.

Las calderas de lecho fluidizado burbujeante tienen tubos de agua/vapor sumergidos en el lecho, esto da lugar a desgastes de los tubos, que segun reportes pueden ser de 1 mm en 1200 horas.

Por lo expuesto, las calderas de lecho fluidizado circulante, sería para las operaciones con antracita, tal como sale de la mina o con un pequeño tratamiento.

6.2.1.3. Capacidad de la nueva caldera y requerimientos de carbón

Teniendo en cuenta que la capacidad actual instalada de vapor de 600 Psig - 700°F es de 620,000 lbs/hr (2 calderas Distral de 160,000 lbs/hr cada uno y 3 calderas Babcock & Wilcox de 100,000 lbs/hr cada uno) y la capacidad instalada de generación eléctrica (turbogenerador Escher Wyss) de 15 Mw. Además el máximo consumo de vapor es cuando se está produciendo papel tipo Liner. (Máquina consume 90,000 lbs/hr) y la máxima generación eléctrica alcanza los 11,000 Kw, donde la producción máxima de vapor en las calderas que tiene que pasar por el turbogenerador, alcanza a 225,000 lb/hr (operando 2 calderas y el turbogenerador).

La capacidad de la caldera de carbón deberá cubrir la máxima demanda de vapor en la operación con el tipo de papel (Liner) que requiere mayor consumo de vapor, con un margen de seguridad sobre la máxima capacidad de la caldera.

Capacidad de la caldera de carbón:

250,000 lbs/hr - 600 Psig - 700°F

Los requerimientos de carbón se calculan en base a Consumo unitario de energía (MBTU/T.P.V), una eficiencia estimada de la caldera de carbón (0.80) y la producción anual proyectada de papel (T.P.V/Año)

- Consumo unitario de energía :

	CALCULADA	DATOS DE PRODUCCION
Eléctrica:	10×10^6 Btu/T.P.V	9×10^6 Btu/T.P.V
Térmica :	$\frac{11.84 \times 10^6}{12,000} \text{ Btu/T.P.V}$	9.5×10^6 Btu/T.P.V
TOTAL :	21.84×10^6 Btu/T.P.V	19.5×10^6 Btu/T.P.V

- Eficiencia estimada de la caldera de lecho fluidizado circulante a carbón antracita nacional y sin combustible auxiliar : 80%
- Producción promedio estimado de papel en los próximos cinco años: 50,000 T.P.V/año.

El consumo de carbón será:

$$21.84 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}} \times 50,000 \frac{\text{TPV}}{\text{Año}} - 52,000 \text{ Tn/año}$$

$$12,000 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbs}} \times 0.8 \times 2,205 \frac{\text{Lbs}}{\text{Tns}}$$

Consumo mensual = $52,000/10 = 5,200$ Tn/mes

Consumo horario = $5,200/30 \times 24 = 7.5$ Tn/hr

(equivalente a 9'200,000 galones de petróleo/año).

6.2.2. Caldera de carbón del proyecto

6.2.2.1. Selección de la caldera

En principio se ha seleccionado una caldera con horno de lecho fluidizado circulante, CFB. La evaluación final de las propuestas determinará el tipo de horno adecuado, teniendo en cuenta que se usará carbón antracita nacional y en lo posible sin combustible auxiliar. Propuesta recibida de la Compañía Gotaverken Energy System de Suecia que es el fabricante líder de calderas de todo tipo en Suecia y con muchas instalaciones a nivel mundial, nos ofertan el diseño propio del lecho fluidizado circulante Gotaverken (CFB) con horno de lecho fluidizado de densidad variable. (Zona de alta densidad y zona de baja densidad).

La capacidad de la caldera será de 250,000 lbs/hr. Se deberá incluir un sistema de alimentación de carbón y el sistema de descarga de ceniza. La caldera deberá incluir ventiladores, ductos de aire y gas, economizador y/o calentador de aire, instrumentación y controles de seguridad.

6.2.2.2. Infraestructura necesaria

La caldera a carbón se instalará en un terreno aledaño a la planta de fuerza existente a

fin de utilizar todos los servicios y disminuir así la inversión inicial.

La infraestructura existente que podrá ser utilizada es la siguiente :

Sistema de tratamiento de agua

Sistema de alimentación de petróleo

Red de tuberías de agua y vapor

Servicios: Energía eléctrica, agua, aire comprimido para instrumentos y uso general

Tableros de control e instrumentos

- Edificios administrativos

El terreno requerido para tratamiento de carbón - comprende de un área de 6,000 m² (60 x 100 m) para almacenar hasta 17,000 TM de carbón (consumo 100 días), 750 m² (15 x 50 m) para selección y triturado y 750 m² (15 x 50 m) para manipuleo.

Deberá instalarse adicionalmente un sistema para transporte de carbón a las tolvas de almacenamiento para servicio diario, una chimenea y una tolva para las cenizas.

El área requerida para las instalaciones de la caldera y los equipos auxiliares es de 2,000 m² aproximadamente

6.2.2.3. Ubicación de la caldera y los equipos

La caldera de carbón y los equipos complementarios se instalarán en la zona NO de la planta de fuerza existente, teniendo en cuenta el sentido del viento.

6.2.2.4. Equipos principales

Los principales equipos considerados en el proyecto son :

ITEM	NOMBRE	ESPECIFICACIONES
1	Caldera	250,000 lbs/hr
2	Tolvas para almacenamiento	2 x 180 TM
3	Tolvas para cenizas	1 x 35 TM
4	Faja transportadora	24" x 235 TM
5	Planta de tratamiento de carbón	40 TM/hr
6	Cargador frontal	170 HP - 3 m ³

Las especificaciones complementarias serán :

1. Tolvas para almacenamiento de carbón

Capacidad : 180 TM

Densidad del carbón: 0.96 TM/m³

Volumen requerido : 188 m³

Diámetro x Altura total : 6.0 MØ x 15.0 M

2. Tolvas para almacenamiento de cenizas

Capacidad : 35 TM
 Densidad de la ceniza: 0.65 TM/m³
 Volumen requerido : 55 m³
 Dimensiones básicas :
 Diámetro x Altura : 3.8 m Ø 7.0 m.

3. Fajas transportadoras para carbón

Capacidad : 40 TM/Hr
 Ancho por longitud : 24" x 23 TM
 Angulo de inclinación: 15% (máximo)
 Velocidad : 100 pies/minuto

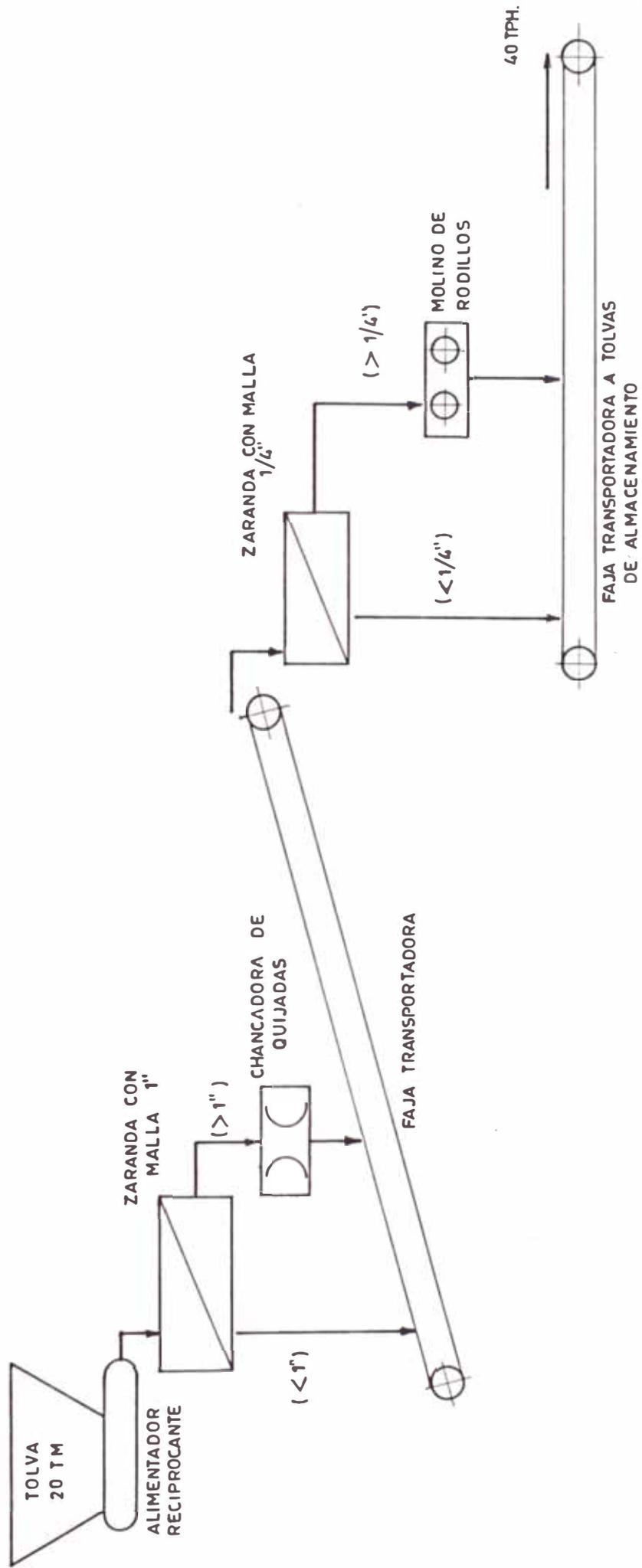
4. Planta de tratamiento de carbón

Se instalará una planta para selección y molienda del carbón a fin de garantizar que a la caldera ingrese solo carbón con dimensiones menores a los 5 mm.

La planta contará con los siguientes equipos - principales :

ITEM	NOMBRE	CAPACIDAD
1	Tolva de almacenamiento	20 TM
2	Alimentador rotativo	40 TM/Hr
3	Zaranda con malla de 1"	40 TM/Hr
4	Chancadora	4 TM/Hr
5	Faja transportadora	40 TM/Hr
6	Zaranda con malla de 1/4"	40 TM/Hr
7	Molinos de rodillos	28 TM/Hr

PLANTA DE TRATAMIENTO DE CARBON



6.2.3. Fabricación y Montaje

6.2.3.1. Construcción de la Planta

El proyecto contempla el aprovechamiento de toda la infraestructura e instalación existentes a fin de disminuir el monto de la inversión y facilitar su implementación.

El proyecto está orientado a conseguir el mayor porcentaje de integración nacional, tanto en el suministro de materiales, equipos y servicios, según se indican a continuación :

MATERIALES : Ladrillos refractarios

Aislamiento

Pinturas

Planchas de acero

Perfiles estructurales

Soldadura

Fierro de construcción

Cemento

Cables eléctricos

EQUIPOS MECANICOS :

Chancadora de carbón

Zaranda de carbón

Alimentadores

Transportadores

Silos, tolvas y chutes

Ductos y chimenea
Estructuras y plataformas metálicas
Ciclones
Ventiladores

EQUIPOS ELECTRICOS :

Motores
Interruptores y arrancadores
Tableros
Artefactos de iluminación

SERVICIOS : Transporte mecánico y terrestre
Seguros: nacional e internacional
Instalaciones y montaje
Inspección

Para efectos del desarrollo e implementación del proyecto, ésta se divide en tres áreas : Caldera , Tratamiento de carbón e Interconexión con el sistema existente.

El área de caldera será desarrollada por el proveedor del equipo en unión con una compañía nacional. El área de tratamiento de carbón será desarrollado íntegramente por compañías nacionales. La interconexión con el sistema existente será efectuada por S.P.L.

S.P.L. efectuará la supervisión y coordinación du

rante las etapas de fabricación e instalación de todos los equipos, a fin de garantizar la calidad de dichos trabajos.

6.2.3.2. Fabricación de equipos y maquinarias

La caldera de carbón con sus sistemas auxiliares se fabricará de acuerdo con la tecnología propia del proveedor de dichos equipos, respetando las normas internacionales para la fabricación de calderas.

Los equipos complementarios se fabricarán localmente según especificaciones e ingeniería básica proporcionada por S.P.L. en coordinación con el proveedor de la caldera.

Todos los equipos serán entregados listos para el montaje, durante esta etapa se contempla la conexión con la instalación existente, a fin de dejar la planta lista para las pruebas y operaciones.

Durante las etapas de fabricación y montaje deberá efectuarse inspecciones continuas que garanticen la calidad de los trabajos.

Todos los equipos deberán ser probados hasta que la planta esté operando en óptimas condiciones.

Se deberá tener especial cuidado con los redimensionamientos y eficiencias de la caldera.

6.2.3.3. Obras Civiles

Los trabajos de construcción civil seran efectuados de acuerdo a los planos y especificaciones técnicas que para este efecto preparan los proveedores de equipos.

Se contempla la construcción de una loza de concreto de 7,500 m² para tratamiento y almacenamiento de carbón.

Se construirá las cimentaciones de la caldera y de todos los equipos complementarios. No se consideran construcciones de nuevas vías de acceso, ni modificaciones de las existentes en la Planta.

Todas las estructuras metálicas y plataformas serán fabricadas localmente.

No se considera la construcción de edificios por que se emplearán las oficinas administrativas y cuartos de control existentes.

6.2.3.4. Cronograma de actividades

Las actividades del proyecto, desde el estudio de factibilidad, hasta la operación normal de la planta, se realizará de acuerdo a un cronograma

6.2.4. Inversiones

En este punto se muestran las necesidades de capital para la adquisición e instalación de la caldera de carbón de 250,000 lbs/hr de capacidad. En el cuadro 4.2 se muestra el resumen de la inversión necesaria para el proyecto.

6.2.4.1. Inversión fija

Equipos y Maquinarias

El gasto en equipos y maquinarias llega a US\$ 6'069,000 como consecuencia de los siguientes desembolsos

	MILES DE US\$		TOTAL
	MONEDA EXTRAJERA (M.E.)	MONEDA NACIONAL (M.N.)	
Caldera de 250,000 lbs/hr (FOB)	4,489	--	4,489
Seguro y fletes del Callao(10%)	450	--	450
Transporte Callao - Trujillo	--	30	30
Arrancadores eléctricos	--	60	60
AREA DE CARBON			
Faja transportadora 24" x 235 m	--	225	225
Cargador frontal de 170 HP	--	165	165
Planta de tratamiento de carbón	--	250	250
Instrumentacion	400	--	400
	5,339	730	6,069

Edificios y Obras Civiles

Los montos consignados por este concepto ascienden a US\$ 215,000 :

	MONEDA EXTRANJERA (M.E.)	MONEDA NACIONAL (M.N.)	TOTAL
Losa para almacén de carbón	--	150	150
Cimentaciones	--	50	50
Chimenea	--	15	15
	--	215	215

Erección y Montaje

Se ha calculado que para este rubro los gastos ascienden a US\$ 630,000 :

Instalación de la caldera y equipos	--	600	600
Conexión a equipos existentes	--	30	30
	-	630	630

Repuestos

Por este concepto se estima 5% del rubro de equipos y maquinarias, menos seguros y fletes, es decir US\$ 260,000 para los siguientes items:

Caldera (4,489)	225	--	225
Area de carbón	--	35	35
	225	35	260

Supervisión

Se considera US\$ 300,000 para la supervisión en el montaje y arranque de la caldera :

	MONEDA EXTRANJERA (M.E.)	MONEDA NACIONAL (M.N.)	TOTAL
1 Supervisor de montaje ex- tranjero durante 9-10 me- ses	130	--	130
1 Supervisor de arranque ex- tranjero durante 2 meses	70	--	70
1 Ingeniero Jefe del Proyec- to	--	36	36
3 ingenieros montaje y arran- que	--	64	64
	200	100	300

Otros

Incluye las reservas para contingencias que ascien-
den a US\$ 100,000 en la porción extranjera y a
US\$ 256,000 en la porción de moneda nacional. Es
ta última cifra viene a ser el 15% de la suma de
todos los items de moneda nacional. En total tene-
mos US\$ 356,000

6.2.4.2. Gastos preparativos

El monto por este concepto asciende a
US\$ 100,000, lo cual corresponde US\$ 90,000 al de-
sarrollo de la ingeniería de detalle y asistencia
técnica y administrativa del proyecto, y US\$ 10,000
para contingencias. Se considera todo como mone-
da nacional.

6.2.4.3. Capital de trabajo inicial

El capital de trabajo inicial representa los fondos requeridos para que la empresa mantenga en forma continua sus actividades cotidianas de negocios. En este estudio, el capital de trabajo está compuesto como el efectivo necesario para mantener un mes las operaciones de la caldera, se ha considerado como desembolsos en moneda nacional y comprenden los siguientes items :

	PERIODO	MILES DE US\$
Inventario de carbón (5,200 Tn/mes)	1 mes	171.6
Mano de Obra	1 mes	8
Costos variables	1 mes	200
Consumo de carbón	1 mes	171.6
Mantenimiento	1 mes	18.8
TOTAL :		570.0

6.2.4.4. Intereses durante construcción

1. Se ha establecido que las fuentes de capital serían el Banco Mundial o la Corporación Andina de Fomento (CAF) y de un fondo especial de COFIDE.

2. El préstamo global será el 70% de la inversión total, correspondiendo a Sociedad Paramonga Ltda., el aporte del 30% restante.

3. El préstamo cubriría el 85% de la porción importada del proyecto y será otorgada en moneda extranjera por el Banco Mundial o la CAF. El fondo especial de COFIDE cubrirá el saldo en moneda nacional.
4. El pago principal se hará en partes iguales semestralmente, en cuatro años, para el préstamo en moneda extranjera y en tres años para el préstamo en moneda nacional.
5. En ambos casos se concede dos años de gracia.
6. Los intereses, 15% anual para moneda extranjera y para moneda nacional, comienzan a correr desde la fecha del desembolso.

En el cuadro N° 4.1 se muestra el detalle de un programa de las inversiones por bimestres, los desembolsos que ellos generan y las necesidades de préstamos y contrapartidas que tiene que aportar Sociedad Paramonga Ltda.

RESUMEN

	MONEDA EXTRANJERA	MONEDA NACIONAL	TOTAL
1.0. INVERSION FIJA			
Equipos y maquinarias	5,339	730	6,069
Edificios y Obras Civiles	--	215	215
Erección y Montaje	--	630	630

.....	MONEDA EXTRANJERA	MONEDA NACIONAL	TOTAL
Repuestos	225	35	260
Supervisión	200	100	300
Otros	100	256	356
	5,864	1,966	7,830

2.0. GASTOS PREOPERATIVOS

Ingeniería	--	90	90
Otros	--	10	10
	--	<u>100</u>	100

3.0. CAPITAL DE TRABAJO

Inversión global	--	570	570
	5,864	2,636	8,500

PRESTAMO

(70% de la inversión global) : $0.7 \times 8500 = 5,950$

(el préstamo cubrirá el 80% de la porción importada)

MONEDA EXTRANJERA (M.E.) = $5,864 \times 0.85 = 4,984$

MONEDA NACIONAL (M.N.) = $5,950 - 4,984 = 966$

CUADRO N° 4.1 - INVERSIONES - DESEMBOLSOS - INTERESES

DESCRIPCION	01-02	03-04	05-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-20
1.0. INVERSION FIJA	ME	0	0	0	673	0	673	0
	MN	0	0	0	0	100	115	0
Equipos y maquinarias	ME	0	0	673	0	0	673	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
Edificios y Obras Civiles	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	100	115	0
Erección y Montaje	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
Repuestos	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
Supervisión	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
Otros	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
2.0. GASTOS PREOPERATIVOS	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	30	70	0	0	0	0	0
3.0. CAPITAL DE TRABAJO	ME	0	0	0	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
4.0. INTERESES DURANTE CONSTRUCCION	ME	0	0	0	0	0	51	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
INVERSIONES	ME	0	0	673	0	0	724	0
	MN	30	70	0	0	0	115	0
T O T A L :		30	70	673	0	100	839	0

Continuación Cuadro N° 4.1

DESCRIPCION	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	TOTAL
1.0. INVERSION FIJA	ME MN	4019 876	26 146	26 146	26 146	421 437	5864 1966
Equipos y maqui- narias	ME MN	3993 730	0 0	0 0	0 0	0 0	5339 730
Edificios y Obras Civiles	ME MN	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 215
Erección y Mon- taje	ME MN	0 126	0 126	0 126	0 0	0 0	0 630
Requisitos	ME MN	0 0	0 0	0 0	0 0	225 35	225 35
Supervisión	ME MN	26 20	26 20	26 20	26 20	96 20	200 100
Otros	ME MN	0 0	0 0	0 0	0 0	100 256	100 256
2.0. GASTOS PREOPERA- TIVOS	ME MN	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 100
3.0. CAPITAL DE TRABA- JO	ME MN	0 0	0 0	0 0	0 0	0 570	0 570
4.0. INTERESES DURAN- TE CONSTRUCCION	ME MN	102 0	0 0	0 0	375 74	0 0	778 126
INVERSIONES	ME MN	4121 876	26 146	26 146	401 220	421 1007	6642 2762
T O T A L :		4997	172	172	621	1428	9404

Continuación Cuadro N° 4.1 (página 169)

DESCRIPCION	01-02	03-04	05-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-20
Desembolsos	ME	0	0	0	673	0	724	0
	MN	30	70	0	0	100	115	0
Préstamos	ME	0	0	0	673	0	673	0
	MN	0	0	0	0	0	0	0
Contrapartida S.P.L.	ME	0	0	0	0	0	51	0
	MN	30	70	0	0	100	115	0

Continuación Cuadro N° 4.1 (página 170)

DESCRIPCION	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	TOTAL
Desembolsos	ME	4121	26	26	401	250	6642
	MN	876	146	146	220	52	2762
Préstamos	ME	3639	0	0	0	0	4984
	MN	645	146	35	0	0	966
Contrapartida S.P.L.	ME	483	26	26	401	250	1658
	MN	231	0	111	220	52	1796

CUADRO N° 4.2 - INVERSIONES

	MILES DE US\$		
	ME	MN	TOTAL
1.0. INVERSION FIJA			
Equipos y maquinarias	5339	730	6069
Edificios y Obras Civiles	-	215	215
Erección y Montaje	-	630	630
Repuestos	225	35	260
Supervisión	200	100	300
Otros	100	256	356
	5864	1966	7830
2.0. GASTOS PREOPERATIVOS			
Ingeniería	-	90	90
Otros	-	10	10
	-	100	100
3.0. CAPITAL DE TRABAJO	-	570	570
	5864	2636	8500
4.0. INTERESES DURANTE CONSTRUCCION			
	778	126	904
INVERSION TOTAL :	6642	2762	9404

CUADRO N° 4.3 - INVERSION ECONOMICA DEL PROYECTO

DESCRIPCION		Unidad : Miles US\$			TOTAL
		AÑO-3	AÑO-2	AÑO-1	
1.0. INVERSION FIJA	ME	0	1346	4518	4864
	MN	0	215	1751	1966
Equipos y maquinaria	ME	0	1346	3993	5339
	MN	0	0	730	730
Edificios y Obras Civiles	ME	0	0	0	0
	MN	0	215	0	215
Erección y Montaje	ME	0	0	0	0
	MN	0	0	630	630
Repuestos	ME	0	0	225	225
	MN	0	0	35	35
Supervisión	ME	0	0	200	200
	MN	0	0	100	100
Otros	ME	0	0	100	100
	MN	0	0	256	256
2.0. GASTOS PREOPERATIVOS	ME	0	0	0	0
	MN	100	0	0	100
Ingeniería	ME	0	0	0	0
	MN	90	0	0	90
Licencia y tecnología	ME	0	0	0	0
	MN	0	0	0	0
Otros	ME	0	0	0	0
	MN	10	0	0	10
3.0. CAPITAL DE TRABAJO	ME	0	0	0	0
	MN	0	0	570	570
INVERSION TOTAL	ME	0	1346	4518	5864
	MN	100	215	2321	2636
		100	1561	6839	8500

CUADRO N° 4.4 - INVERSION FINANCIERA DEL PROYECTO

DESCRIPCION		Unidad : Miles de US\$				
		AÑO-3	AÑO-2	AÑO-1	TOTAL	
1.0.	INVERSION FIJA	ME	0	1346	4518	5864
		MN	0	215	1751	1966
	Equipos y maqui-	ME	0	0	3993	3993
	narias	MN	0	0	730	730
	Edificios y	ME	0	0	0	0
	Obras Civiles	MN	0	215	0	215
	Erección y Mon-	ME	0	0	0	0
	taje	MN	0	0	630	630
	Repuestos	ME	0	0	225	225
		MN	0	0	35	35
	Supervisión	ME	0	0	200	200
		MN	0	0	100	100
	Otros	ME	0	0	100	100
		MN	0	0	256	256
2.0.	GASTOS PREOPERA-	ME	0	0	0	0
	TIVOS	MN	100	0	0	100
	Ingeniería	ME	0	0	0	0
		MN	90	0	0	90
	Licencia y tecno	ME	0	0	0	0
	logía	MN	0	0	0	0
	Otros	ME	0	0	0	0
		MN	10	0	0	10
3.0.	INTERESES DURAN-	ME	0	51	727	778
	TE CONSTRUCCION	MN	0	0	126	126
4.0.	CAPITAL DE TRABA	ME	0	0	0	0
	JO	MN	0	0	570	570
	INVERSION TOTAL	ME	0	1397	5245	6642
		MN	100	215	2447	2762
	PRESTAMO		0	1346	4604	5950
	CONTRAPARTIDA		100	266	3088	3454
	S.P.L.					

6.2.4.5. Inversión total

1. Los montos totales ascienden a US\$ 5'864,000 - en moneda extranjera y US\$ 2'636,000 en moneda nacional para la inversión que se utiliza en la evaluación económica del proyecto (cuadro N° 4.3), donde sólo se considera la inversión fija, gastos preoperativos y capital de trabajo, obteniéndose un total de US\$ 8'500,000.
2. Para la evaluación financiera se considera además los intereses durante la construcción, para este caso, los montos de inversión son :
US\$ 6'642,000 en moneda extranjera y US\$ 2'762 en moneda nacional, obteniéndose un monto global de US\$ 9'404,000.

6.2.5. Margen de ahorros

Como el vapor y la electricidad que genera el proyecto no se va a vender, sino transferir a costo de producción en la máquina papelera y a la planta de pulpa, por lo que para la evaluación se considera como ingreso bruto el total de gastos - que serian necesarios en el año 1995 y los años sucesivos para producir vapor y generar electricidad que consuma la producción de los 50,000 toneladas de papel proyectadas, si el proyecto no se realiza.

Luego el margen de ahorros resulta de restar de la cifra anterior, los gastos de operación que genere el proyecto.

En el cuadro N° 5.1 se resume el cálculo de dicho margen de ahorros anuales. Los gastos de operación de la planta de fuerza correspondientes al año 1986 en la primera columna, para la producción de papel de 56,778 TM (se considera el año 1986 por ser el más cercano a la producción proyectada de 50,000 - TM del proyecto). En la segunda columna se han proyectado dichos costos para 1995, en la que se producirá 50,000 TM de papel, ésta viene a constituir el ingreso bruto del proyecto. En la tercera columna se muestran los gastos de operación que incurriría el proyecto. En la cuarta columna se muestran las diferencias entre la 2da. y 3ra. columna. En el resumen el margen de ahorros resulta :
US\$ 4'606,000. Las cifras mostradas en el cuadro se explican por si solas y el detalle del cálculo se muestra en anexo aparte (anexos del capítulo 6).

CUADRO N° 5.1 - MARGEN DE AHORROS GENERADOS POR LA INSTALACION DE LA CALDERA DE CARBON

DESCRIPCION	INSTALACION ACTUAL					COSTOS DE OPERACION DEL PROYECTO			MARGEN DE AHORROS OPERACION DEL PROYECTO
	1 9 8 6	1 9 9 5	Unidad MGLs/pe tróleo	Miles de US\$/Año	Miles de US\$/Año	Unidad TM/Carbón	Miles de US\$/Año	Miles de US\$/Año	
COSTOS VARIABLES	7535	7535			7535	1944		5591	
Petróleo	9.2	9.2	9.2	7360	-	-	-	-	
Carbón	-	-	-	13	5200	1716	13	1716	
Productos químicos	-	-	-	34	-	44	-	44	
Materiales de operación	-	-	-	128	-	128	-	128	
Tratamiento de agua	-	-	-	-	-	43	-	43	
Transporte de cenizas	-	-	-	-	-	-	-	-	
COSTOS FIJOS	299	299			299	1284		(985)	
Personal	84	84			84	93		93	
Depreciación	137	137			137	906		906	
Mantenimiento	78	78			78	285		285	
Gastos Generales	-	-			-	-		-	
T O T A L E S	7834	7834			7834	3228		4606	

CUADRO N° 5.2 – CRONOGRAMA DE DEPRECIACIONES

DESCRIPCION	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	TOTAL
1.0. Depreciación del Proyecto	769	769	769	769	769	769	769	769	769	769	7690
1.1. Equipos y maquinarias (10 años)	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	6070
1.2. Edificios y Obras Cíviles (30 años)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	70
1.3. Erección y Montaje (30 años)	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	630
1.4. Repuestos(10 años)	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	260
1.5. Supervisión (10 años)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	300
1.6. Otros (10 años)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	360
2.0. Depreciación Actual	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	1370
DEPRECIACION TOTAL	906	9060									

6.2.5.1. Costos de Vapor y Electricidad

El costo anual de operación en el proyecto US\$ 3'228,000 corresponden a los gastos que se incurren tanto en calderas como en la planta eléctrica y que sirven para producir :

$$(21\ 84 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{TPV}} \times 50,000 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}) \quad 1.092 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{Año}}$$

tomando esta cifra para dividir los gastos de operación, se obtiene US\$ 2.95/MBtu. La generación eléctrica insume 10250 Btu/Kw-hr, de allí se deduce que el costo de la energía eléctrica es :

$$(\$ 2\ 95/\text{MBtu} \quad 10250 \frac{\text{Bt}}{\text{Kw-hr}}) \quad \text{US\$ } 0.030/\text{Kw-hr}$$

Como referencia, cabe mencionarse que el costo de vapor en 1986 fué alrededor de \$ 8.2/MBtu y la electricidad aproximadamente \$ 0.058/Kw-hr.

6.2.6. Evaluación del Proyecto

En este punto se efectúa la evaluación del proyecto. El análisis se hace sobre el supuesto - que este proyecto será ejecutado por Sociedad Paramonga Ltda. S.A., haciendo uso de todos los servicios e infraestructura existente en Trupal, y que el objetivo principal es la búsqueda de la optimización de las operaciones de esta área, cuyo logro

será determinado por medio de la Tasa Interna de Retorno del proyecto, desde el punto de vista económico y financiero.

6.2.6.1. Premisas del Análisis

VIDA DEL PROYECTO

Se ha estimado en 10 años la vida del proyecto y en 2 años el período de construcción, contados a partir de la firma del contrato con la empresa que obtenga la buena pro de la licitación respectiva.

CAMBIO DEL DOLAR

$$1 \text{ US\$} = \text{I/. } 180,000$$

PRECIO BASE

Se han utilizado los precios válidos para el semestre de 1990, ellos no han sido escalados y no se considera el impacto de la inflación, es decir serán dolares constantes.

CAPACIDAD DE LA PLANTA

La capacidad de la planta calculada es de 250,000 lbs/hr, ésta servirá para cubrir la demanda de la máquina de papel, planta de pulpa, consumo interno de la planta de fuerza y generación de electricidad que gú b l i de 1 092 10¹² Btu/Añ

REQUERIMIENTOS DE CAPITAL

Las necesidades del capital para el proyecto se muestran en el punto 4. Se considera que el servicio de la deuda se hará al final de cada semestre (cuadros Nros. 6.1 y 6.2).

MARGEN BRUTO

En el punto 5 se han determinado que el margen de ahorros anuales, base de la evaluación del proyecto, asciende a US\$ 4'606,000/Año.

6.2.6.2. Métodos del Análisis

Se basan en el estudio de los resultados y premisas presentadas en los puntos 4 y 5 y lo anterior, de acuerdo a ello se preparan las tablas de ganancias y pérdidas de los Análisis Económicos y Financieros (cuadros 6.3 y 6.5 respectivamente) y de los flujos de caja, también de los análisis económicos y financieros (cuadros 6.4 y 6.6 respectivamente) y como criterio de rentabilidad de ellas se calculan las tasas internas de retorno económico y financiero (TIRE y TIRF).

El TIRE se refiere a la rentabilidad de lo obtenido, tomando como base la inversión global, sin préstamos.

El TIRF se refiere a la rentabilidad del flujo de caja del proyecto, considerando amortizaciones del préstamo e intereses, en relación a la porción de la inversión total, menos el préstamo.

La ecuación aplicada para el cálculo del TIRE y TIRF es :

$$\sum_{i=1}^n \frac{\text{Flujo de caja año } i}{(1+i)^n}$$

6.2.6.3. Resultados

Los principales resultados de los cálculos se muestran a continuación en las páginas siguientes (cuadros Nros. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6) y al final el resumen de los cálculos.

CUADRO N° 6.1 - SERVICIO DE LA DEUDA

Unidad: Miles de US\$

PERIODO	SALDO PRESTAMO		PRINCIPAL		INTERESES		TOTAL A PAGAR		SALDO PRESTAMO		PRINCIPAL		INTERESES		TOTAL A PAGAR	
	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME	MN	MN	MN	MN	MN	MN	MN	MN
	4984	0	0	0	0	0	4984	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semestre 1	4361	623	623	374	997	0	997	0	0	0	72	72	72	72	72	72
Semestre 2	3738	673	673	327	950	966	950	966	0	0	72	72	72	72	72	72
Semestre 3	3115	623	623	980	903	805	903	805	161	161	72	72	72	72	233	233
Semestre 4	2492	625	625	234	857	644	857	644	261	261	60	60	60	60	221	221
Semestre 5	1869	623	623	187	810	483	810	483	161	161	48	48	48	48	209	209
Semestre 6	1246	623	623	140	763	322	763	322	161	161	36	36	36	36	197	197
Semestre 7	623	623	623	93	716	161	716	161	161	161	24	24	24	24	185	185
Semestre 8	0	623	623	47	670	0	670	0	161	161	12	12	12	12	173	173
	4984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Año 1	4361	1246	1246	701	1947	0	1947	0	0	0	144	144	144	144	144	144
Año 2	3115	1246	1246	514	1760	805	1760	805	322	322	132	132	132	132	454	454
Año 3	1869	1246	1246	327	1573	483	1573	483	322	322	84	84	84	84	406	406
Año 4	623	1246	1246	140	1386	161	1386	161	322	322	36	36	36	36	358	358

CUADRO N° 6.2 - SERVICIO DE LA DEUDA

PERIODO	Unidad: Miles de US\$			
	SALDO DEL PRESTAMO	PAGO TOTAL PRINCIPAL	PAGO TOTAL INTERESES	PAGO TOTAL PRESTAMO
	4984	0	0	0
Semestre 1	4361	623	446	1069
Semestre 2	4704	623	399	1022
Semestre 3	3920	784	352	1136
Semestre 4	3136	784	294	1078
Semestre 5	2352	784	235	1019
Semestre 6	1568	784	176	960
Semestre 7	784	784	117	901
Semestre 8	0	784	59	843
	4984			
Año 1	4361	1246	845	2091
Año 2	3920	1568	646	2214
Año 3	2352	1568	411	1979
Año 4	784	1568	176	1744

CUADRO N° 6.3 - ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS ECONOMICAS

Unidad: Miles de US\$

DESCRIPCION	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Margen de ahorros	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606
Gastos Administrativos y Ventas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos Preoperativos	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Utilidad antes de deducciones	4596	4596	4596	4596	4596	4596	4596	4596	4596	4596
Ley Industrias (27%)	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241
Impuesto a la Renta (30%)	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342
Utilidad después deducciones	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013

CUADRO N° 6.4 - FLUJO DE CAJA ECONOMICO

Unidad: Miles de US\$

DESCRIPCION	AÑO-3	AÑO-2	AÑO-1	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Utilidad des pués deducc.	0	0	0	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
Depreciación	0	0	0	906	906	906	906	906	906	906	906	906	906
Gastos preo- perativos	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Total de fuentes	0	0	0	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929
Inversiones	100	1561	6839	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor resi- dual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total aplica ciones	100	1561	6839	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de caja	-100	-1561	-6839	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929	2929
TIR (%)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

CUADRO N° 6.5 - ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS FINANCIERAS

Unidad: Miles de US\$

DESCRIPCION	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Margen de ahorros	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606	4606
Gastos Administrativos y Ventas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos Preoperativos	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Gastos financieros	934	735	500	265	89	89	89	89	89	89
Utilidad antes de deducciones	3662	3861	4096	4331	4509	4509	4509	4509	4509	4509
Ley Industrias (27%)	988	1042	1106	1169	1217	1217	1217	1217	1217	1217
Impuesto a la Renta (40%)	1070	1128	1196	1265	1317	1317	1317	1317	1317	1317
Utilidad después deducciones	1604	1691	1794	1897	1975	1975	1975	1975	1975	1975
Crédito reinversión ()	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad neta después deducciones	1604	1691	1794	1897	1975	1975	1975	1975	1975	1975

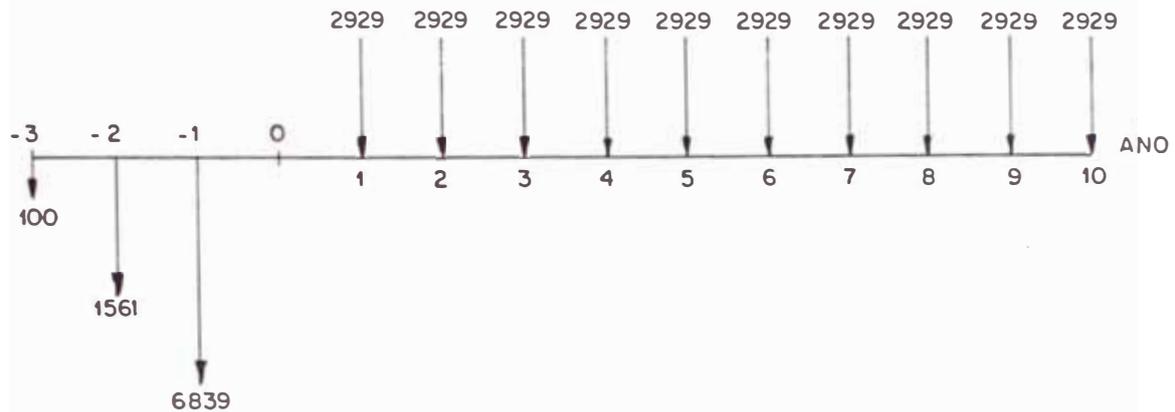
RESUMEN DE CALCULOS

	Unidad: Miles US\$	
	TIRE	TIRF
Requerimientos de capital	8500	3454
Préstamo	0	5950
Margen de ahorros	4606	4606
Otros gastos	10	510
Utilidad antes deducciones	4596	4096
Flujo de caja	2929	1231
Tasa Interna de Retorno %	23.5	34%

NOTA: Se ha utilizado la información del 3er. año de operaciones.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Económico :

$$\sum_{i=0}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^n} = 0$$



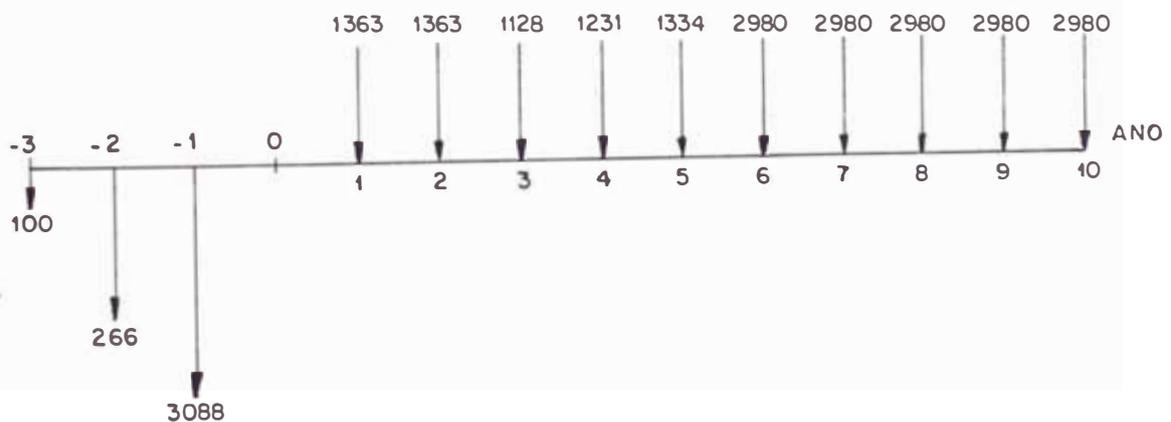
$$100(1+i)^3 + 1561(1+i)^2 + 6839(1+i) = 2929 \left| \frac{(1+i)^{10} - 1}{i(1+i)^{10}} \right|$$

$$i = 23.5\%$$

$$\text{TIR} = 23.5\%$$

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Financiero :

$$\sum_{i=0}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^n} = 0$$



$$100(1+i)^3 + 266(1+i)^2 + 3088(1+i) = 1363/(1+i) + 1128/(1+i)^2 + 1231/(1+i)^3 + 1334/(1+i)^4 + 2980/(1+i)^5 + 2980 \frac{(1+i)^5 - 1}{i(1+i)^{10}}$$

$$i = 34\%$$

$$\text{TIR} = 34\%$$

6.2.6.3.1. Principales indicadores financieros

1. Utilidad después de impuestos sobre la inversión financiera.
2. Coeficiente de cobertura del servicio de la deuda
3. Punto de equilibrio.

Utilidad después de impuestos sobre participación patrimonial:

$$\frac{\text{Utilidad después de impuestos}}{\text{Participación patrimonial}}$$

Proporción de cobertura del servicio de la deuda:

$$\frac{\text{Utilidad después impuestos} + \text{Depreciación} + \text{Intereses}}{\text{Amortización} + \text{Intereses}}$$

Punto de equilibrio :

$$\frac{\text{Costos fijos} + \text{Intereses}}{\text{Ingreso bruto} - \text{Costo variable}}$$

INDICES FINANCIEROS :

AÑO	UTILIDAD INV.FINANC.	COBERTURA SERV.DEUDA	PUNTO DE EQUILIBRIO
01	44.8	1.95	24.43
02	47.3	1.67	23.60
03	50.0	1.73	22.70
04	52.8	1.79	21.80
05	54.9	--	21.80
06	54.9	--	21.80
07	54.9	--	21.80
08	54.9	--	21.80
09	54.9	--	21.80
10	54.9	--	21.80

Utilidad después de impuestos sobre participación patrimonial :

Este índice muestra una variación entre 44.8% y 54.9% siendo un buen indicador de la bondad del proyecto.

Coefficiente de cobertura del servicio de la deuda:

Fluctúa entre 1.95 y 1.79, estando en un nivel muy por encima de 1.0, indica que el status financiero del proyecto es muy bueno.

Punto de equilibrio (utilización de capacidad)

En esta fórmula se debe utilizar los valores del ingreso bruto y costos variables a plena capacidad de

la caldera, sin embargo, aquí se ha calculado los valores correspondientes al caso base (210,000 lbs/hr), el que viene a constituirse en 100%. En el primer año se obtiene el valor máximo de 24.43% para después bajar a 21.3% en los cuatro años siguientes, valor que se mantiene hasta el final de la vida del proyecto, es decir que la capacidad de la caldera puede bajar a esos porcentajes del caso base (84% de utilización). Este es otro indicador que muestra poco riesgo de la inversión.

6.2.6.4. Análisis de sensibilidad

Parámetros considerados

Se calcula el análisis de sensibilidad de los siguientes parámetros, tanto para la evaluación económica como financiera, expresados con TIR del proyecto, cuyos resultados se calculan, tabulan y grafican con ayuda de la computadora.

	-25%	CASO BASE	+25%
Producción de vapor MBtu	819,000	1'092,000	1'365,000
Precio del petróleo \$/gl.	0.6	0.80	1.0
Precio del carbón \$/TM	25	33	41

Resultados del análisis

Los cuadros Nros. 6.7, 6.8 y 6.9 muestran los resultados del Análisis de Sensibilidad, tanto para la Evaluación Económica como Financiera, expresados como TIR del proyecto.

CUADRO N° 6.7 - ANALISIS DE SENSIBILIDAD

ITEMS	-25%	0%	+25%
SENS.ECONOMICA			
Producción de vapor	18	23.5	29
Precio del petróleo	17.5	23.5	29.5
Precio del carbón	25	23.5	22
SENS. FINANCIERA			
Producción de vapor	27.5	34	40.5
Precio del petróleo	30	34	38
Precio del carbón	37.5	34	30.5

Los números se refieren a las TIR económica y financiera, respectivamente.

a) Cambios en la producción de vapor

La producción de vapor es directamente proporcional a la producción de papel en función del tiempo. Esto es válido si el volumen de producción por unidad de tiempo estimado es constante.

Bajo esta premisa se ha hecho el análisis de sensibilidad de la producción de vapor en variaciones de -25% a +25% del caso base. Desde que estos cambios afectan al ingreso bruto y a los costos de operación, para este análisis, solo se han variado los costos variables de ambos rubros, obteniéndose así una fluctuación en el TIR económico que va de 18% a 29% y en el TIR financiero de 27.5 a 40.5%.

Básicamente, la variación de la producción de papel presenta el mismo efecto que variar la capacidad de utilización de la caldera.

b) Cambios en el precio del petróleo

Se ha considerado la posibilidad de que oscile entre \$ 0.6/galón a \$ 1.0/galón. Esto afectaría a lo que se ha considerado como ingreso bruto, dando lugar a un TIR económico entre 17.5 a 29.5 en la evaluación económica y un TIR financiero entre 30% y 38%, en la evaluación financiera.

c) Cambios en el precio del carbón

Para el caso, se ha considerado un precio mínimo de \$ 25/TM puesto en planta y otro máximo de \$ 41/TM.

El TIR económico en estas circunstancias fluctúa entre 25% a 22% y el TIR financiero entre 37.5% a 30.5%.

Desde que en el cálculo, el consumo de carbón - está basado en :

$$\frac{\text{Btu producidos/año} \times \$/\text{TM carbón}}{\text{Btu/lb carbón} \times \text{Eficiencia caldera}} = \frac{2205}{\text{IM}} \times \text{Eficiencia caldera} = \text{US$/año de carbón}$$

Resulta que el análisis de sensibilidad del precio de carbón puede relacionarse con la eficiencia de la caldera.

En el caso base se ha considerado que la eficiencia de la caldera es igual a 80%, si baja a 75%, estimado como la eficiencia mínima posible, entonces :

$$\frac{\$/\text{año de carbón} \times 0.8}{0.75} = \$/\text{año de carbón} \times 1.06$$

es decir, si la eficiencia baja a 75%, el TIR económico sería el equivalente al del precio - del carbón incrementado en 5%, que es igual a un TIR económico de 23% y TIR financiero de

33.2 para esta situación.

- 6.3. ANALISIS DE LA ALTERNATIVA DEL PROYECTO DE ADQUISICION DE UNA CALDERA PILOTO DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE DE 50,000 LBS/HR, 600 PSIG, 700°F, PARA PROPOSITOS DE INVESTIGACION Y CAPACITACION TECNOLOGICA (SOCIEDAD PARAMONGA LTDA. FCA. TRUPAL) Y QUE SIRVA COMO SUSTENTO Y CONFIRMACION DE CUALQUIER PROYECTO DE USO DE LA ANTRACITA PERUANA (ALTO CHICAMA) PARA PROPOSITOS DE GENERACION ELECTRICA EN EL PERU

6.3.1. Sustento y descripción del Proyecto

En el Peru, desde hace varios años, tanto entidades oficiales como privadas han elaborado estudios y/o proyectos de sustitución del petróleo - por carbón antracita, para producción de energía, reducir su costo y resolver en parte el déficit de energía eléctrica en el país.

Aún cuando hay antecedentes de uso de la antracita del Alto Chicama (CAA Cartavio, Tableros Peruanos y otros) instalaciones nuevas (caldera de "lecho fluidizado" en Backus y Johnston S.A., Quemadores "Suxe" en Pesca Perú y otros) con resultados de operación no muy satisfactorios. Además hay proyectos completos desarrollados (carboeléctrica del Alto Chicama, uso de carbón en calderas de ingenios azu

careros, caldera de lecho fluidizado para la industria papelera Trupal y otros). A ésto agregado que la antracita en el mundo es solamente el 6% y por tanto todas las tecnologías han sido mayoritariamente desarrollados por carbones no antracíticos, y a pesar que las últimas tecnologías de lecho fluidizado aceptan todas las gamas de carbones: EL COMPORTAMIENTO DE LA ANTRACITA PERUANA NO PARECE ESTAR AUN BIEN DEFINIDO como para comprender grandes proyectos de generación eléctrica.

S.P.L. Trupal ha enviado una muestra de 300 TM de carbón antracita del Alto Chicama a Suiza, con el propósito de estudiar su comportamiento en un lecho fluidizado, sobre el cual todavía no se tiene la respuesta del informe oficial.

Por otro lado, Sociedad Paramonga Ltda. Fca. Trupal contempla la adquisición e instalación de la caldera en referencia para generación de vapor en las necesidades propias de la planta y la utilización del equipo como caldera piloto, en la cual se evaluará el uso de combustible como la antracita, bagacillo, material rechazo del proceso de pulpeo y cualquier otro combustible disponible.

El proyecto en sí, es de suma importancia, ya que la empresa daría inicio al programa de sustitución

de petróleo por carbón, para la producción de energía.

Considerándose que el presente proyecto tiene trascendencia nacional, Sociedad Paramonga Ltda. S.A., a través de convenios con determinadas instituciones del gobierno está interesado en su financiamiento e implementación, para que con la operación de esta caldera experimental, los resultados obtenidos favorezcan al resto de industrias.

Indagaciones y visitas efectuadas por técnicos de energía de S.P.L. a diferentes países se ha localizado una caldera de 50,000 lbs/hr, 600 Psig, fabricado por la firma Ahlstrom de Finlandia.

La inversión involucrada asciende a US\$ 6'800,000, de los cuales cerca del 40% está conformado por los gastos de internamiento de los equipos importados. Los ahorros anuales por sustitución del petróleo por carbón, ascienden a la suma de US\$ 1'944,000, los costos incrementados de operación son de US\$ 792,850 generando ahorros anuales netos del orden de US\$ 1'171,150. La evaluación económica y financiera de esta operación se muestra al final.

La compra propuesta no se presenta como un proyecto con retorno, sino como un RIC de investigación, con el objeto de evaluar el comportamiento de nues

tro carbón como combustible sustituto del petróleo y definir los parámetros de combustión en las calderas de lecho fluidizado circulante, para en el futuro pasar a mayor tamaño en Trupal y otras industrias.

6.3.2. Razones para la inversión

Sociedad Paramonga Ltda. S.A. ocupa el segundo lugar en el consumo nacional de petróleo (23 millones de galones al año), después de Souther Perú Cooper que usa 93 millones de galones al año - (datos del año 1985). Actualmente, las reservas petroleras son limitadas y su aumento depende del apoyo del Estado Peruano. La Energía térmica producida con petróleo es sumamente caro.

Considerando la diferencia de precio que existe entre el carbón y el petróleo (real), se hace imprescindible la sustitución del petróleo por el carbón. El Perú cuenta con buenas reservas de carbón y su costo basado en la equivalencia calórica es mucho más barato.

Con la utilización del carbón, la incidencia del costo del vapor sobre el costo de la tonelada de papel se podrá reducir. Del mismo modo S.P.L. con el proyecto fomentaría el desarrollo y reemplazo del petróleo por el carbón antracita, disminuyendo

los costos de generación de energía.

La adquisición específica de esta caldera se justificaría por la posibilidad de poner la planta en operación, en un plazo menor, que si se tratara de equipos completamente nuevos.

6.3.3. Costo estimado de la inversión

EQUIPOS IMPORTADOS

Caldera (Irlanda)	1'827,000
Equipos auxiliares (Irlanda)	750,000
TOTAL F.O.B.	<u>2'577,000</u>
Flete y seguro (estimado)	206,660
TOTAL C.I.F.	2'783,660

GASTOS LOCALES

Derechos y gastos aduaneros	2'158,000
Transporte local	50,000
Obras civiles y estructuras asísmicas	219,600
Instalación y montaje	302,000
Supervisión, puesta en marcha y entrenamiento	267,840
Compras locales (según detalle)	423,900
	3'421,340
SUBTOTAL	6'204,870
Imprevistos (10% aprox.)	595,130
T O T A L :	6'800,000

6.3.3.1. Equipos locales adquiridos

DESCRIPCION	MONTO: US\$
1. Ventiladores con motores	43,700
2. Arrancadores para ventiladores	3,300
3. Motores varios con arrancadores	11,560
4. Almacenamiento y manipuleo de carbón ...	150,000
5. Tolvas y alimentadores	66,900
6. Tuberías	30,000
7. Instrumentos, cables eléctricos y conexiones	67,340
8. Varios (según presupuesto de Ahlstrom)	51,100
T O T A L :	423,900

6.3.4. Servicio de la deuda

1. Monto del préstamo: US\$ 5'440,000 (80% de la inversión fija)
2. Interes anual : 15%
- 3 Plazo de amortización : 5 años
4. Plazo de gracia : 1 año
5. Inflación esperada : dolares constantes

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO (Miles de US\$)

AÑO	SALDO	INTERESES	AMORTIZACION	SERV. DEUDA
1	5440	816	--	816
2	5440	816	1088	1904
3	4352	652.8	1088	1740.8
4	3264	489.6	1088	1577.6
5	2176	326.4	1088	1414.4
6	1088	163.2	1088	1251.2

6.3.5. Ahorros obtenibles

1. Requerimientos de petróleo

Galones/año : 3'680,000

Costo: \$/galón : 0.80

Costo total : \$ 2'944,000

2. Sustitución por carbón

Poder calorífico del petróleo: 148,000 Btu/
galón

Poder calorífico del carbón: 12,000 Btu/lb

Eficiencia de combustión :

petroleo: 80%

carbón : 80%

Requerimientos :

carbón : 20,000 TM/año

Costos unitarios :

carbón(seleccionado) : US\$ 50/TM

Costos Totales : US\$ 1'000,000

3. Ahorros brutos por sustitución del combustible

$$2'944\ 000 - 1'000,000 = \text{US\$ } 1'944,000$$

6.3.6. Costos operacionales incrementados (anuales)

Transporte de cenizas : US\$ 12,000

Consumo de electricidad : 80,850

SUBTOTAL 92,850

Depreciación 680,000

TOTAL COSTOS OPERACIONALES INCREMENTADOS : US\$ 772,850

6.3.7. Características técnicas, datos y cálculos para la caldera piloto Ahlstrom

CARACTERISTICAS TECNICAS :

Fabricante : Ahlstrom

Tipo : Pyroflow

Produc.vapor : 50,715 lbs/hr

Presión : 42 bar (609 psia)

Temperatura : 480°C + 10 (896° = ± 18)

Máxima presión de trabajo

Permitida : 50 bar (725 psia)

Presión en tambor: 45.5 bar (660 psia)

DATOS CALDERA AHLSTROM

	SALIDA CALDERA	EN TUBERIA
Presión vapor	609 psia	609
Temperatura	896°F	700°F
Producción vapor	50,000 lb/hr	55,440 lb/hr
Temp. agua alimentacion		248°F
Entalpía vapor a 609 psia-700°F		1,463 Btu/lb
Eficiencia caldera con antracita		86%
Eficiencia caldera con bagacillo		60%

DATOS PARA CALCULO

Poder calorífico carbón	12,000 Btu/lb
Poder calorífico petróleo	148,000 Btu/lb
Eficiencia con carbón(estim.)	80%
Eficiencia con petróleo (prom.)	80%
Costo del petróleo	US\$ 0.80/galón
Costo carbón (seleccionado)	US\$ 50/TM
Producción de vapor (90% de carga máxima)	50,000 lb/hr
Consumo adicional de energía eléctrica	350 Kw
Consumo energía eléctrica (propia)	US\$ 0.033/Kw-hr

CALCULOS

Producción de calor : $1463 - 216 = 1247 \text{ Btu/lb}$

Capacidad producción calor caldera :

$$1247 \times 50,000 = 62.35 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$$

$$62.35 \times 10^6 \times 7000 = 436.45 \times 10^9 \text{ Btu/año}$$

Consumo carbón :

$$\frac{436.45 \times 10^9}{12,000 \times 2205 \times 0.8} = 20,000 \text{ TM/año (2.85 TM/hr)}$$

Consumo equivalente petróleo

$$\frac{436.45 \times 10^9}{148,000 \times 0.8} = 3'680,000 \text{ galón/año (526 galón/hr)}$$

ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS ECONOMICAS

Unidad: Miles de US\$

DESCRIPCION	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ahorros	1944	1944	1944	1944	1944	1944	1944	1944	1944	1944
Costos operac. incrementados	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85	772.85
Utilidad de operación	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15	1171.15
Ley de Indust. (27%)	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20	316.20
Impuesto a la Renta (35%)	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20	299.20
Utilidad desp. deducciones	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75

EVALUACION ECONOMICA

DESCRIPCION	AÑO -1	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Utilidad desp. deducciones	0.00	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75	555.75
Depreciación	0.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00	680.00

sigue

Evaluación Económica

DESCRIPCION	AÑO -1	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Total fuentes	0.00	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75
Inversión	6800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total aplica ciones	6800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo neto económico	-6800	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75	1235.75
TIR Económico (%)	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A la luz de los resultados encontrados en el desarrollo del proyecto se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. El Perú posee reservas potenciales de aproximadamente 1,000'000,000 TM de carbón, correspondiendo 74% de los mismos al carbón antracita, 15% a carbón bituminoso y el 11% a lignitos según un informe de la empresa promotora del carbón S.A. (PROCARBON), sin embargo, el nivel de explotación actual alcanza a 180,000 TM anuales aproximadamente.
2. Los depósitos de Alto Chicama actualmente están siendo explotadas en los distritos de Uzquil (Otuzco), Quiruvilca (Sgto. de Chuco) y otros de La Libertad. Se han estudiado ampliamente y se han encontrado 25'273,741 TM como reservas probadas, 34'474,764 TM como reservas probables y 211'000,000 como posibles - (total : 270'000,000). La vía de comunicación a Trupal son 95 kilómetros de carretera alfastada y 110 Km de carretera afirmada.
3. La calidad del carbón antracita de los Asientos Mineros del Alto Chicama, tanto en composición como en -

granulometría, están dentro de los parámetros que exige el proyecto para su empleo en calderas de lecho fluidizado seleccionados en el Proyecto de Sustitución del petróleo por carbón.

4. El suministro de carbón antracita para poner en operación regular el proyecto de sustitución de petróleo por carbón antracita en Trupal, el que empezaría a fines del año 1994 y que necesitaría un abastecimiento de unas 200 toneladas diarias a 5,200 toneladas mensuales de carbón, no afrontaría ningún problema, ya que la capacidad de explotación actual de los Asientos Carboníferos del departamento de La Libertad supera largamente esta cantidad y para el futuro inmediato y mediano plazo, todos ellos siguen desarrollando sus minas, a fin de aumentar sus reservas probadas y en consecuencia poder incrementar la explotación regular de sus minas.
5. El costo de explotación del carbón antracita en los Asientos Mineros del Alto Chicama, más el costo del transporte, desde éstos hasta el lugar de su empleo, para el caso de Trupal, no pasarán de \$ 28 para el más desfavorable; lo que nos dá un margen de seguridad para la rentabilidad del proyecto al considerar como precio de compra del carbón antracita puesto en Trupal US\$ 33 cada tonelada.

6. No es necesario la participación directa de Trupal o cualquier otro usuario para impulsar el desarrollo - minero carborífero de las empresas de carbón, en vista de que éstas ya tienen sus canales establecidos - para ellos. SPL Trupal, más bien, puede indirectamente fomentar este desarrollo asegurando el uso futuro (a un plazo determinado) de una cantidad considerable de carbón antracita en sus plantas.
7. Los actuales costos de fabricación de los diferentes productos se encuentran seriamente impactados por los actuales costos de energía y en vista de ello se ha convertido en necesidad imprescindible la sustitución del petróleo por un combustible más barato como el carbón para la generación de vapor. Trupal y las CAAs tienen la situación más favorable para este propósito.
8. El carbón seleccionado por su menor costo y buen rendimiento es el cisco de antracita "tal como sale de la mina", resultando el lecho fluidizado circulante la tecnología más apropiada para este tipo de carbón.
9. Los beneficios más importantes derivados del proyecto "Caldera de Carbón" para Trupal, son :
 - a) Proporcionar al país un ahorro en el consumo de petróleo de 9'200,000 galones/año, el cual puede exportarse o simplemente dejar de producir o dejarse de importar en el futuro.

- b) La utilidad bruta del proyecto por tonelada de papel producido, en el caso de la inversión financiera, es de aproximadamente US\$ 80/TM que es un beneficio sumamente importante, de fuerte impacto en los costos de operación de Trupal, lo que podría permitir reducir sustancialmente los precios de venta de los diferentes papeles que se producen y así irrumpir agresivamente en los mercados nacionales y de exportación.
10. La instalación de la caldera de carbón en SPL Trupal dinamizará la minería de carbón y procurará al país las ventajas en cadena que suponen la creación de nuevas plazas de trabajo y el aumento del PBI. Existirá además, el aprovechamiento industrial del recurso en sustitución del petróleo del que dependemos ahora abrumadoramente, cuyo precio internacional deberá incrementarse en cercano plazo, según los analistas especializados.
11. El montaje de la caldera y sus accesorios incluyen una buena porción de fabricación nacional, lo cual daría lugar a un incremento en la demanda de mano de obra y materiales de la zona, hasta por un monto de US\$ 4'000,000.
12. En lo referente al financiamiento, es indispensable obtener, en las actuales circunstancias del país,

propuestas de provisión, construcción y montaje de calderas de antracita, -como la de la Corporación China- con pagos a plazo de 15 años o más y tasas de interés usuales en la cooperación internacional, del orden del 5% a 6% a fin de desarrollar el mejor programa nacional.

Vistos estos enfoques, resulta que el proyecto aporta : satisfacción de las necesidades básicas de la población a través de la generación de empleo en la minería de carbón, produce cambios en la estructura productiva de la empresa, contribuye al desarrollo regional y otros; factores que en resumen resultan ser superiores a los recursos que el proyecto insume en su implementación. Por tal motivo, considero como meritorio el de ejecutarlo, desde que es financiera y técnicamente viable.

BIBLIOGRAFIA

1. TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS OF COAL DEVELOPMENT AND UTILIZATION : W. Kenneth Dirickson Intent, Inc. Joliet Illinois.
2. INFORME : Empresa Promotora del Carbón S.A. (PROCAR - BON).
3. CENTRALES ELECTRICAS : Freederick T. Morse
4. STEAM : Babcock and Wilcox
5. TECHNOLOGICAL, PULP AND PAPER : C.L. Tomlinson
F.H. Richter
6. MANUAL DEL AZUCAR DE CAÑA : Spencer - Meade
7. MANUAL DEL INGENIERO AZUCARERO : H. Hugot
8. REPORTE DE GEPLACEA : Boletin N° 11, julio-setiembre
1979
9. FLUIDIZED BED COMBUSTION AND APPLIED TECHNOLOGY
The First International Symposium, Sponsored by Tsinghua University, Beijing (people's Republic of China)
Robert G. Schwieger, Editor.
10. TECNOLOGIA DE LAS CALDERAS DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE G.C.F.B. : Cortesia de H.B. Eloff Hanson
11. SPECIAL REPORT POWER : February 1985
12. COMBUSTION CALCULATION BY GRAPHICAL METODOS : Combustion Engineering, Inc. 1970
13. EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION : CENIP - EP
14. ANALISIS ECONOMICO DE INGENIERIA : Jirosi Shoji O.