

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



SISTEMA DE MANEJO DE CARBON  
PARA UNA PLANTA TERMoeLECTRICA

T E S I S  
Que Para Obtener el Título de  
QUIMICO METALURGICO  
P r e s e n t a

VICTOR MANUEL DIAZ ANAYA

México, D. F.

1977



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA  
LAB. Tesis 1977  
ADQ. M-777 **119**  
FECHA \_\_\_\_\_  
\*ROC. \_\_\_\_\_  
\* \_\_\_\_\_



JURADO ASIGNADO

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| PRESIDENTE    | ING. MANUEL GAVIÑO RIVERA     |
| VOCAL         | ING. KURT NADLER GUNDEISHIMER |
| SECRETARIO    | ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO     |
| 1er. SUPLENTE | ING. HUMBERTO MALAGON ROMERO  |
| 2do. SUPLENTE | ING. MARCO A CHAMARRO DIAZ    |

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
|                  | COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD |
| SUSTENTANTE:     | VICTOR MANUEL DIAZ ANAYA         |
| ASESOR DEL TEMA: | ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO        |

A LA FACULTAD DE QUIMICA

CON RESPETO AL  
HONORABLE JURADO.

AL ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO  
POR DIRIGIRME EN ESTE TRABAJO.

A MIS PADRES

MANUEL DIAZ GONZALEZ

Y

OTILIA ANAYA DIAZ

Por haberme dado la vida  
y la oportunidad de no --  
haberlos defraudado.

A MI ESPOSA

MA. DE LOURDES

Con todo mi amor agrade-  
ciendo su apoyo moral.

A MI HIJO

VICTOR ANDRES

Esperando que un futuro -  
supere lo que he logrado.

CON CARIÑO

A MIS HERMANAS

SILVIA Y LAURA

A MI HERMANO

FLAVIO.

A MIS DEMAS FAMILIARES

Como muestra de gratitud.

AL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y DISEÑO  
DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

AL SR. HIRAM PACHECO N.

Por su generosa ayuda.

# I N D I C E

|  | Pág. |
|--|------|
| CAPITULO I INTRODUCCION.....                             | 1    |
| CAPITULO II GENERALIDADES.....                           | 2    |
| 2.1 CARBON MINERAL.....                                  | 2    |
| 2.2 ORIGEN DEL CARBON MINERAL.....                       | 2    |
| 2.3 FORMACION DEL CARBON.....                            | 3    |
| 2.3.1 Proceso Químico de Formación.....                  | 4    |
| 2.3.2 Proceso Bioquímico de la Formacion del Carbón..... | 4    |
| 2.3.3 Período Dinamoquímico de la Formacion del Carbón.. | 7    |
| 2.4 <u>ANALISIS Y ENSAYOS DEL CARBON</u> .....           | 8    |
| 2.4.1 Análisis Aproximado.....                           | 8    |
| 2.4.1.A Humedad.....                                     | 8    |
| 2.4.1.B Materia Volatil.....                             | 9    |
| 2.4.1.C Cenizas.....                                     | 10   |
| 2.4.1.D Carbón Fijo.....                                 | 12   |
| 2.4.1.E Azufre.....                                      | 12   |
| 2.4.1.F Fósforo.....                                     | 13   |
| 2.4.2 Análisis Final.....                                | 13   |
| 2.4.2.A Carbono e Hidrógeno.....                         | 13   |
| 2.4.2.B Nitrógeno.....                                   | 14   |
| 2.4.2.C Azufre.....                                      | 14   |
| 2.4.2.D Oxígeno.....                                     | 14   |

|  | Pág. |
|--|------|
| 2.4.3 Poder Calorífico.....                        | 15   |
| 2.4.4 Propiedades Físicas.....                     | 19   |
| 2.5 CLASIFICACION DE LOS CARBONES.....             | 20   |
| 2.6 TIPOS DE CARBON.....                           | 25   |
| 2.6.1 Carbón Brillante.....                        | 25   |
| 2.6.2 Carbón Sub-bituminoso.....                   | 26   |
| 2.6.3 Carbón Bituminoso.....                       | 26   |
| 2.6.4 Hullas Grasas.....                           | 26   |
| 2.6.5 Carbón Boghead.....                          | 26   |
| 2.7 EDADES DE LOS CARBONES.....                    | 27   |
| 2.7.1 Turba.....                                   | 27   |
| 2.7.2 Lignito.....                                 | 28   |
| 2.7.3 Hulla.....                                   | 28   |
| 2.8 PETROGRAFIA Y CARACTERISTICAS QUIMICAS.....    | 28   |
| 2.8.1 Fusita.....                                  | 29   |
| 2.8.2 Vitrita.....                                 | 29   |
| 2.8.3 Durita.....                                  | 31   |
| 2.8.4 Clarita.....                                 | 31   |
| 2.9 COMBUSTION ESPONTANEA DEL CARBON.....          | 32   |
| 2.10 CARACTERISTICAS Y USOS DEL CARBON MINERAL.... | 33   |

|   | Pág.   |
|---|--------|
| 2.10.1 Turba.....   | 33     |
| 2.10.2 Lignito.....   | 34     |
| 2.10.3 Sub-bituminoso.....  | 36     |
| 2.10.4 Bituminoso.....  | 36     |
| 2.10.5 Semi-antracita.....  | 37     |
| 2.10.6 Antracita.....   | 37     |
| 2.11 CUENCAS CARBONIFERAS.....  | 40     |
| 2.12 RESERVAS.....  | 45     |
| <br>CAPITULO III COMBUSTIBLES PARA PLANTAS TERMOELECTRICAS.....                   | <br>47 |
| 3.1 ANTECEDENTES DE LA GENERACION DE LA ELECTRICIDAD.....                         | 47     |
| 3.2 METODOS DE PRODUCIR ENERGIA ELECTRICA.....                                    | 48     |
| 3.2.1 Energía Hidráulica.....   | 49     |
| 3.2.2 Motores de Combustión Interna.....  | 49     |
| 3.2.3 Motores de vapor.....   | 50     |
| 3.2.4 Turbinas de Vapor.....  | 50     |
| 3.2.5 Nuevos Desarrollos.....   | 50     |
| 3.3 PASOS EN LA PRODUCCION DE LA ENERGIA ELECTRICA PARTIENDO DEL COMBUSTIBLE..... | 51     |
| 3.3.1 Combustible a Calor.....  | 51     |
| 3.3.2 Calor a Vapor.....  | 51     |

|  | Pág. |
|--|------|
| 3.3.3 Vapor a Movimiento Mecánico.....                             | 51   |
| 3.3.4 Movimiento Mecánico a Energía Eléctrica.....                 | 52   |
| 3.4 RELACION DEL EQUIPO PRINCIPAL DE LA PLANTA DE FUERZA.          | 52   |
| 3.5 UBICACION DE LAS PLANTAS DE FUERZA.....                        | 53   |
| 3.5.1 Consideraciones Físicas.....                                 | 53   |
| 3.5.2 Factores Económicos.....                                     | 53   |
| 3.6 PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA PLANTA TERMOELEC-<br>TRICA..... | 54   |
| 3.7 COMBUSTIBLE DE CARBON Y DISEÑO DE PLANTA.....                  | 57   |
| 3.8 CONSIDERACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO.....                    | 61   |
| 3.9 REQUISITOS DEL AREA.....                                       | 62   |
| 3.10 ESTUDIO PRELIMINAR.....                                       | 62   |
| 3.11 CRITERIOS.....  | 63   |
| 3.12 COORDINACION CON LOS PLANOS DE TRAZADO.....                   | 64   |
| 3.13 ESTUDIO DEL COMBUSTIBLE.....                                  | 64   |
| 3.14 SELECCION DEL COMBUSTIBLE.....                                | 65   |
| 3.15 MIXTOS DE HULLA COMO COMBUSTIBLE.....                         | 66   |
| 3.16 PODER CALORIFICO.....   | 67   |
| 3.17 CARBON.....   | 68   |
| 3.18 CARBON PULVERIZADO.....                                       | 69   |
| 3.19 QUEMADO DEL CARBON PULVERIZADO.....                           | 69   |
| 3.20 COMBUSTION DEL CARBON.....                                    | 70   |

|   | Pág. |
|---|------|
| CAPITULO IV SISTEMAS DE MANEJO DE CARBON.....         | 72   |
| 4.1 GENERALIDADES.....                                | 72   |
| 4.2 MANEJO DE CARBON.....                             | 72   |
| 4.3 EXPLOTACION DEL CARBON.....                       | 73   |
| 4.3.1 Tajo Abierto.....                               | 74   |
| 4.3.2 Explotación Subterránea.....                    | 75   |
| 4.3.3 Método de Bordos.....                           | 75   |
| 4.3.4 Frente Larga.....                               | 76   |
| 4.4 LIMPIEZA DEL CARBON.....                          | 77   |
| 4.5 FORMA FISICA Y DISTRIBUCION DE LAS IMPUREZAS..... | 78   |
| 4.6 PESO ESPECIFICO DEL CARBON.....                   | 79   |
| 4.7 TIPOS DE PROCESO DE LAVADO.....                   | 82   |
| 4.7.1 Piletas Lavadoras.....                          | 82   |
| 4.7.2 Vibración.....                                  | 83   |
| 4.7.3 Clasificadores.....                             | 83   |
| 4.7.4 Procesos de Flotación y Hundimiento.....        | 85   |
| 4.8 SUMINISTRO DE CARBON.....                         | 85   |
| 4.9 EFECTOS DE LA TRITURACION.....                    | 87   |
| 4.10 TAMIZADO DEL CARBON.....                         | 88   |
| 4.10.1 Cribas con Palanca Fija.....                   | 88   |
| 4.10.2 Criba Giratoria o de Disco.....                | 88   |
| 4.10.3 Criba Vibradora.....                           | 92   |

|   | Pág. |
|---|------|
| 4.11 ALMACENADO.....                                    | 92   |
| 4.11.1 Almacenamiento de Carbón Activo (vivo).....      | 94   |
| 4.11.2 Almacenamiento de Carbón Muerto.....             | 96   |
| 4.11.3 Precauciones para el Almacenamiento del Carbón.. | 100  |
| 4.12 MEZCLADO DEL CARBON.....                           | 103  |
| 4.13 RECEPCION DEL CARBON.....                          | 105  |
| 4.13.1 Volteo Rotatorio.....                            | 106  |
| 4.13.2 Descargador Vibratorio.....                      | 106  |
| 4.13.3 Areas para Descarga Problemática.....            | 108  |
| 4.13.4 Descarga de Carbón por Medio de Camiones.....    | 109  |
| 4.13.5 Transporte de Carbón por Barco.....              | 109  |
| 4.13.6 Transporte de Carbón por tuberfa.....            | 111  |
| 4.14 TRANSPORTADORES DE BANDA.....                      | 113  |
| 4.15 SISTEMA DE TRANSPORTE.....                         | 116  |
| 4.16 OPERACIONES DE ALIMENTACION DEL CARBON.....        | 117  |
| 4.16.1 Alimentador de Banda.....                        | 117  |
| 4.16.2 Alimentador de Cuchara de Arrastre.....          | 118  |
| 4.16.3 Alimentador Vibrador.....                        | 118  |
| 4.16.4 Alimentador de tornillo.....                     | 119  |
| 4.16.5 Alimentador Mandil.....                          | 119  |
| 4.16.6 Alimentador de Placas.....                       | 119  |
| 4.16.7 Alimentador de Cangilones.....                   | 119  |

|   | Pág.    |
|---|---------|
| 4.16.8 Alimentador de Compuertas.....                 | 123     |
| 4.17 MOLIENDA.....                                    | 123     |
| 4.17.1 Variables de la Operación.....                 | 124     |
| 4.18 SILOS DE CARBON.....                             | 132     |
| 4.19 DISTRIBUCION DE CARBON A SILOS.....              | 133     |
| 4.20 ALIMENTACION DE LA CALDERA.....                  | 134     |
| 4.21 PROVISIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO DE CARBON  | 134     |
| 4.21.1 Pesado.....                                    | 135     |
| 4.21.2 Muestreo.....                                  | 135     |
| 4.21.3 Control de Polvo.....                          | 138     |
| <br>CAPITULO V SELECCION DEL EQUIPO MAS ADECUADO..... | <br>140 |
| 5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....                     | 141     |
| 5.2 PLANTA TERMOELECTRICA "RIO ESCONDIDO".....        | 143     |
| <br>CAPITULO VI CONCLUSIONES.....                     | <br>159 |
| <br>CAPITULO VII BIBLIOGRAFIA.....                    | <br>161 |

## I. INTRODUCCION.

La evolución reciente en el campo de los energéticos, la versatilidad en la operación de las plantas termoeléctricas, el que ésta sea una forma "limpia" de generación y el disponer de un alto porcentaje de tecnología nacional para el diseño y construcción de estas plantas, son razones que hacen que la Comisión Federal de Electricidad, por medio del Departamento de Ingeniería y Diseño, tenga en sus manos el proyecto para construir una planta termoeléctrica alimentada con carbón.

El proyecto, denominado "Río Escondido", constará de cuatro unidades generadoras de vapor para producir 300 MW por cada unidad.

Este proyecto fué aprobado después de llevar a cabo un minucioso estudio enfocado principalmente a:

a). - Costo de los energéticos, optando por el más económico en la actualidad y además el de mayor existencia en el país y que es el carbón.

b). - El empleo de un combustible, el cual no tuviera demasiadas pérdidas de subproductos a la hora de quemarlo, siendo de entre los combustibles conocidos el carbón sub-bituminoso.

Por tal motivo, al realizar el estudio, se llegó a la conclusión que el sitio más adecuado para construir dicha planta será en el Estado de Coahuila ya que, como es sabido, es una de las regiones carboníferas de la República Mexicana que cuenta con grandes yacimientos de carbón.

Este tema estará enfocado principalmente a los sistemas de manejo de carbón para una planta termoeléctrica.

## II. GENERALIDADES.

### 2.1. CARBON MINERAL.

El carbón es una materia compacta, proveniente de restos estratificados, completa y alterada en sus propiedades físicas y químicas como resultado de la acción geológica. Los cambios químicos incluyen alteraciones complejas en los compuestos vegetales, para producir la substancia carbonosa con evolución de humedad, bióxido de carbono y metano. Los cambios físicos incluyen oscurecimiento de la materia, aumento de dureza y compactación y cambios en la fractura. El carbón se clasifica como roca debido a su naturaleza física y a los depósitos de la naturaleza donde se forma.

### 2.2. ORIGEN DEL CARBON MINERAL.

El origen del carbón lo constituyen los vastos depósitos de flora -- acumulados durante las edades geológicas pasadas. Según la clasificación del reino vegetal, las divisiones correspondientes a la flora carbonífera -- son: la XI Bryophyta ó musgos, la XII Pteridophyta ó helechos y semejantes y la XIII Spermatophyta ó plantas que producen semilla. La mayor parte de esta flora se ha extinguido, sin embargo algunas formas las encontramos actualmente o bien sus descendientes, por ejemplo, selaginela, colas de caballo.

La antracita y la hulla en cuyo origen formaron parte principalmente las grandes licopodiáceas y helechos. El lignito formado principalmente de coníferas y árboles verdes. La turba de Sphagnum Ericáceas.

### 2.3. FORMACION DEL CARBON.

2 ✱ Vastos depósitos de material vegetal acumulados durante las edades geológicas pasadas constituyen el material origen del carbón. Por procesos que comprenden una acción bioquímica, inmersión en agua, calentamiento - y presión, las partes más resistentes de este material, junto con productos de degradación, se han transformado en carbón. El paso inicial de este proceso, o sea, de la reunión de la materia vegetal, su descomposición parcial y su transformación principalmente en turba por acción biológica, tiene lugar actualmente en las turberas.

El paso siguiente del proceso de formación del carbón, resulta de la deposición de material sedimentario sobre el depósito de turba durante un período de depresión de la superficie del terreno. En períodos geológicos siguientes, la presión de esta sobrecarga compactó el material de la turbera - y se formaron carbones lignitos. La transformación en carbones bitumino--sos y antracitas de la calidad más alta, se produjo en aquellas regiones en que se desarrollaron intensas presiones en la corteza terrestre. El meta--morfismo gradual del carbón para pasar a su más alta calidad, se ha realizado por el aumento del calor y la presión, que se extiende a través de lar--gos y variados períodos geológicos. ✱

El término calidad se utiliza para diferenciar los carbones en relación con su grado de metamorfismo, que es evidente por la variación pro--gresiva de su contenido en carbón fijo. No hay una línea definida que separe las diversas calidades; y el análisis, propiedades y características de un grupo se entremezclan con los de los grupos próximos. Generalmente -

se supone que las distintas calidades no son ocasionadas por diferencias de los materiales origen de los carbones. Dentro de las diversas calidades de carbón, hay varios tipos o variedades que muestran variedades típicas a causa de las discrepancias del material origen.

### 2.3.1. PROCESO QUIMICO DE FORMACION.

La formación del carbón bien puede considerarse como un proceso-fisicoquímico complejo, en el que ocurren muchos factores. Este proceso se desarrolla mediante la descomposición gradual de los materiales de origen vegetal que contienen celulosa, principal constituyente de la madera. Semejantes procesos se verifican en ausencia de aire, por acción bioquímica, inmersión en agua y bajo la influencia de enormes presiones y temperaturas; una serie de transformaciones y degradaciones ocurren a la formación del carbón.

Una serie de experimentos han sido practicados, tendientes a imitar el proceso de carbonización tal como ocurre en la naturaleza, por ejemplo, se ha convertido (a escala de laboratorio) celulosa en substancia bituminosa.

### 2.3.2. PERIODO BIOQUIMICO DE LA FORMACION DEL CARBON.

Es actualmente aceptada la teoría de que los depósitos vegetales de los que se derivan la mayoría de los carbones son análogos a los depósitos de turba de la actualidad por una serie de transformaciones, los depósitos de turba se han convertido en lignito, algunos otros en los sub-bituminosos,

o en los carbones bituminosos de alto, bajo y medio contenido de materias volátiles, o finalmente en antracita o semi-antracita. Las variedades de carbones que representa diferentes etapas de conversión del depósito original de turba se denominan grados. El grado de un carbón se refiere a la calidad en cuanto a su contenido de cenizas, temperatura de ablandamiento de cenizas, contenido de azufre, tamaño y poder calorífico.

Ellos son, por ejemplo, antracita, que representa la transformación máxima, es el grado más alto; mientras el lignito es el más bajo. La turba no es carbón, pero está considerada como la etapa inicial, a partir de la masa vegetal y se forma en pantanos. De sus varios tipos conocidos, el más común es el que se forma en los pantanos, provenientes de maderas.

La evidencia indica que la formación de turba en dicho sitio es similar a la formación de depósitos de antiquísimos pantanos que dieron origen a los carbones más comunes. Allí, el crecimiento de los árboles es frecuentemente tan espeso, que las hierbas y arbustos no pueden vivir. El musgo y los líquenes cubren el terreno que rodea los árboles, entre la humedad reinante inmediatamente que un árbol muere, cae y se descompone; la descomposición o putrefacción del árbol consiste principalmente en la desintegración de microorganismos, bacterias y hongos de materia vegetal, ayudada por la presencia de humedad y aire. Los microorganismos hacen que el árbol y sus restos se desintegren. Más árboles y organismos surgen del depósito de restos, crecen y van muriendo y sus productos de descomposición se agregan a la acumulación de materias orgánicas. Las capas más recientes presionan gradualmente a las anteriores debajo de la superficie del agua

del pantano. Privados de aire por el agua estancada y los depósitos, los microorganismos mueren y la posterior descomposición de la materia vegetal se lleva a cabo muy lentamente.

A menos que estén bajo otra acción, los fragmentos de los vegetales sumergidos pueden retener su forma original, lo mismo que su estructura, casi indefinidamente. Tales acciones, como el crecimiento de plantas y su consecuente muerte y descomposición, han continuado frecuentemente tanto el tiempo que se han encontrado depósitos vegetales de varios metros de espesor.

El período en la formación del depósito de carbón, durante el cual una capa de materia orgánica parcialmente descompuesta se ha acumulado por independientes, aunque relacionadas, acciones del crecimiento vegetal y descomposición biológica, se conoce como "período bioquímico".

No todos los componentes del vegetal se descomponen con la misma rapidez en el curso de la formación de la turba; el protoplasma y los aceites lo hacen relativamente rápido, los hidratos de carbono más lentamente; pero las esporas, ceras, resinas, son altamente resistentes y permanecen inalteradas hasta mucho después que las otras partes del vegetal se han descompuesto íntegramente. Las masas de resina diseminadas en algunos carbones son similares a la resina de los pinos del sur.

Por su alta resistencia a la descomposición, aparecen casi igualmente en las sustancias carbónicas.

El tipo de vegetal original, el alcance de descomposición de sus constituyentes, las cantidades de derivados que permanecen y los restos de mi--

croorganismos contribuyen a la formación del carbón de turba y ejercen influencia en sus propiedades.

### 2.3.3. PERIODO DINAMOQUIMICO DE LA FORMACION DEL CARBON.

Estudios geológicos realizados en esta parte de la corteza terrestre en la que se instalan los depósitos de carbón, han permitido ilustrar sobre el mecanismo de la formación de carbón de la turba e informaciones posteriores muestran los índices producidos en la materia orgánica después de estar bajo condiciones similares a las que se han creído encontrar. La conversión de turba en carbón se atribuye a las presiones producidas por los terrenos superyacentes sobre el depósito de la turba, a la formación de montañas y a los movimientos terrestres. También contribuye el calor de la materia mineral acumulada en los depósitos vegetales, es así como influye en los resultados. Se producen constantemente lentos cambios de la corteza terrestre y así, partes de la superficie se hundén y surgen otras. Si, como resultado de tales movimientos, el área de un pantano de turba se hunde lentamente en un promedio mayor que los depósitos acumulados, habrá sido cuando la superficie completa se cubrió de agua y formó un lago. A medida que el agua cubría el pantano no hubo posterior crecimiento de la vegetación. Con tiempo, arcilla y sedimentos traídos por las aguas de terrenos adyacentes, han podido cubrir el depósito de turba y compactarlo, acumulándose.

El largo período durante el cual la presión, acompañada por la acción de calor, se ejerció probablemente, se denomina "período dinamoquí

mico" de transformación. La transformación de turba en carbón se denomina metamorfosis o carbonización.

#### 2.4. ANALISIS Y ENSAYOS DEL CARBON.

Los métodos más importantes para el análisis del carbón son: el análisis primario o aproximado y el análisis final ó último. Estos métodos son de valor solamente cuando están basados en muestras representativas de carbón. Se seguirán las indicaciones de la A.S.T.M. para el muestreo, preparado de las mismas, análisis aproximado, análisis último y en general, para todas las pruebas necesarias para el carbón.

Para todas las determinaciones, excepto algunos métodos para determinar la humedad, el carbón es molido para que pase una malla 60.

##### 2.4.1. ANALISIS APROXIMADO.

El análisis primario consiste en determinar el contenido de: humedad, materia volátil, cenizas y carbón fijo (por diferencia) de una muestra de carbón. Con él se incluye generalmente una determinación de azufre y algunas veces fósforo. Este ensayo es relativamente rápido, fácil de realizar en un laboratorio común y para muchas aplicaciones provee la información necesaria sobre la calidad del carbón. Los resultados, excepto humedad, se expresan sobre la base de porcentaje en peso de carbón seco.

##### 2.4.1.A. HUMEDAD.

La humedad se determina calentando una muestra de carbón, previamente pesada, a una temperatura entre 104°C y los 110°C. El contenido

de humedad varía con algunos factores como: la mina de la cual se extrae el carbón, la veta carbonífera y el intervalo de tiempo en que el carbón ha permanecido expuesto a las inclemencias del tiempo. En algunos casos, - como resultado de la acción secadora del aire, la exposición atmosférica - hace disminuir la humedad; en otros, la lluvia aumenta materialmente la - humedad.

Con el objeto de asegurar que la determinación de la humedad sea - representativa, es necesario tener particular cuidado con la obtención de - la muestra.

La humedad en gran porcentaje no es, lógicamente, deseada por el comprador de carbón, dado que debe pagar por material no combustible -- que no desea y que además insumiría parte del calor de combustión para - evaporarla.

#### 2.4.1.B. MATERIA VOLÁTIL.

Las materias volátiles representan aquella porción del carbón que - es convertida en productos volátiles cuando se calienta en ausencia de aire. Dado que la porción así desprendida varía con la temperatura y el tiempo - de calentamiento, para obtener datos comparativos, se estandarizan las -- condiciones de ensayo y deben seguirse estrictamente.

Se calienta 1 gr. de muestra de carbón seco en un crisol de platino - previamente pesado, durante exactamente 7 min. a  $950^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ .

La pérdida de peso, multiplicada por 100 es igual al porcentaje de - materias volátiles.

La concentración de materia volátil fluctúa entre 2% y 8% en las antracitas y hasta un 40% en algunos carbones americanos. Es un valor importante para los consumidores de carbón. Los carbones de alto contenido de materia volátil, por ejemplo, tienden a quemar con una llama larga y pueden dar mucho humo. La materia volátil debe quemarse completamente con el objeto de asegurar la máxima eficiencia térmica durante la combustión; por ello, el carbón deberá arden cuidadosamente o ser quemado en quemadores destinados a tal efecto. Las calderas que queman carbón de un contenido relativamente bajo de materias volátiles (15 % a 20 %) son generalmente preferidas debido a que tienden a quemar dando menos humo. El carbón pulverizado para quemar en las calderas es preferentemente alto en materias volátiles, aunque los bajos volátiles han sido usados satisfactoriamente en esta forma. Los gases existentes en el carbón pulverizado ayudan a una más rápida combustión. Teniendo en cuenta los altos rendimientos en gases obtenibles de los carbones con alto contenido de materia volátil, son preferidos en la manufactura del gas de alumbrado.

#### 2.4.1.C. CENIZAS.

Las cenizas se determinan mediante una combustión completa en exceso de aire, de una muestra previamente pesada de carbón. El porcentaje de cenizas se calcula tomando el peso del residuo no combustible.

El porcentaje de contenido de cenizas de los carbones fluctúan entre 2 % y valores más altos.

La ceniza del carbón proviene de la arcilla, la pirita de hierro, piedra caliza, arena y otras substancias minerales, todas en una forma más o

menos dividida y distribuída en todo el carbón de la veta. ]

La arcilla, esquistos, o la pizarra provienen del piso o techo de la veta o filones en la zona carbonífera. La materia inorgánica inherente está combinada con la materia orgánica del carbón. En general se mantiene dentro de porcentajes límites típicos, como sigue:

|                    |  |                 |
|--------------------|--|-----------------|
| sílice             | $\text{SiO}_2$                             | 20.0 % - 60.0 % |
| óxido de aluminio  | $\text{Al}_2\text{O}_3$                    | 10.0 % - 35.0 % |
| óxido férrico      | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                    | 5.0 % - 35.0 %  |
| óxido de calcio    | $\text{CaO}$                               | 1.0 % - 20.0 %  |
| óxido de magnesio  | $\text{MgO}$                               | 0.3 % - 4.0 %   |
| óxido de titanio   | $\text{TiO}_2$                             | 0.5 % - 2.5 %   |
| álcalis            | $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | 1.5 % - 2.5 %   |
| trióxido de azufre | $\text{SO}_3$                              | 0.1 % - 12.0 %  |

Generalmente son necesarias pequeñas cantidades de cenizas en la combustión del carbón porque forman una capa aislante que protege los -- quemadores del combustible incandescente. Las cantidades grandes de cenizas no son convenientes porque las cenizas son materias inertes que -- consumen calor y cuya venta representa un gasto para el consumidor. Las dificultades de la extracción o remoción de las cenizas se ven agravadas -- por la formación de escorias en el lecho del combustible. En procesos in -- dustriales, en los que el carbón es quemado en contacto directo con los -- materiales a procesar, la ceniza puede representar una impureza que en muchos casos afecta el producto o el proceso mismo. Este es el caso en -- la fabricación de cemento portland, en donde se quema carbón pulveriza --

do; y en el uso de coque con elevado porcentaje de ceniza en el alto horno. En el lecho de fusión o combustión las cenizas con bajo punto de fusión funden a menudo en masas grandes y porosas llamadas escorias. Estas masas — acumuladas en los quemadores, impiden la regulación apropiada del fuego, obstruyen el paso del aire y la renovación de la ceniza. Por otro lado, las cenizas con alto punto de fusión permiten un lecho holgado y poroso en el que pueden mantenerse más uniformemente las condiciones de combustión. Pero éstas no son generalmente desadas.

#### 2.4.1.D. CARBON FIJO.

El carbón fijo se obtiene restando de 100 la suma de los porcentajes de materia volátil y cenizas en el carbón seco.

#### 2.4.1.E. AZUFRE.

El azufre se presenta generalmente en los carbones bajo la forma de compuestos orgánicos e inorgánicos. Las formas inorgánicas son: pirita sulfúrica, sulfato de calcio y sulfato férrico. La pirita se presenta como partículas o masas que fluctúan desde tamaños microscópicos hasta grandes bultos, distribuidos a través del carbón. También se presenta en capas. En el carbón fresco, el sulfato con azufre libre cristalizado es escaso, pero aumenta a medida que se orea el carbón. El azufre orgánico se combina en moléculas complejas de carbón y está casi uniformemente distribuido a través de la sustancia pura del carbón. El contenido de azufre en los carbones varía desde fracciones del 1 % al 10 % y más.

El azufre se determina por oxidación del bióxido y del trióxido de azufre, absorción de los óxidos mediante un álcali para formar los correspondientes sulfito y sulfato, oxidación de éstos y finalmente, la conversión de todo el sulfato en sulfato de bario insoluble. Del peso de sulfato de bario producido, se calcula el porcentaje de azufre en el carbón.

La objeción más común a un alto contenido de azufre en un carbón es la correspondiente gran proporción de bióxido de azufre, formado cuando se quema el carbón o sus derivados.

#### 2.4.1.F. FOSFORO.

El fósforo se presenta en el carbón como fosfato y como compuestos orgánicos del fósforo. En la combustión, todo el fósforo pasa a las cenizas y la cantidad se determina por análisis de las mismas. El fósforo no es importante en la combustión, pero sí en la valoración del carbón para la producción de coque metalúrgico.

#### 2.4.2. ANALISIS FINAL.

En el análisis final se determinan los porcentajes de los elementos principales de un carbón: carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno.

##### 2.4.2.A. CARBONO E HIDROGENO.

Se determinan quemando el carbón en oxígeno en un tubo de combustión bajo condiciones controladas. El bióxido de carbono proveniente del carbón y el agua formada por el hidrógeno, son extraídos de los gases de combustión mediante tubos de absorción que contienen pesos conocidos de

materiales absorbentes. De los pesos de bióxido de carbono y agua absorbidos, se calculan los porcentajes de carbono e hidrógeno.

#### 2.4.2.B. NITROGENO.

Es determinado por el método Kjeldahl. Se oxida completamente una muestra de carbón hirviéndola en una mezcla de aceite sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y un poco de mercurio. Después que se ha precipitado el mercurio, se agrega hidróxido de sodio en exceso, y el amoníaco formado durante la oxidación se destila y determina por los métodos normalizados. - La cantidad de amoníaco obtenida se usa para determinar el porcentaje de nitrógeno en el carbón.

#### 2.4.2.C. AZUFRE.

El método para determinar azufre ha sido descrito en el análisis -- aproximado.

#### 2.4.2.D. OXIGENO.

No se ha desarrollado aún un método satisfactorio para la determinación del oxígeno. Se calcula restando de 100 los porcentajes de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y cenizas. Este procedimiento tiene la des-- ventaja de arrojar los errores acumulados en el oxígeno.

El análisis final toma más tiempo que el análisis próximo y a su -- vez requiere considerable experiencia técnica. Aunque la información que proporciona es útil, no es esencial como norma en las operaciones de la planta. Consecuentemente, los análisis finales de carbones son rara vez -

hechos en los laboratorios analíticos industriales.

### 2.4.3. PODER CALORIFICO.

Se obtiene por la combustión completa de una cantidad unitaria de carbón en una bomba calorimétrica de oxígeno bajo condiciones minuciosamente definida. El poder calorífico bruto o alto se obtiene por este procedimiento, pues el calor latente de la humedad en los productos de la combustión se recupera.

Los resultados se expresan sobre las siguientes bases: como recibido seco o seco y exento de cenizas.

Si se tiene el análisis elemental, se puede calcular el poder calorífico de los carbones de alta calidad, con una exactitud en que el error quede dentro del 2 % al 3 %, por medio de la fórmula de Dulong:

$$\text{Poder calorífico en Kcal/Kg.} = 8080 C + (H - O/8) + 2250 S$$

en la que C, H, O son los pesos unitarios, o fraccionarios, obtenidos por el análisis.

La temperatura de reblandecimiento de las cenizas del carbón se determina por un método estándar o normalizado adoptado por la A.S.T.-M. Las cenizas que funden entre 1040 °C y 1200 °C se consideran de baja fusión; las que lo hacen entre 1200 °C y 1430 °C son de media fusión y las que funden por encima de los 1430 °C se llaman de alta fusión. En general, las cenizas que tienen bajas temperaturas de reblandecimiento es probable que formen escoria, pero también afectan a la formación de ésta la compo-

sición química de las cenizas, las condiciones en que se verifica la combustión y otros factores.

A continuación se da una relación de normas para el carbón publicadas en 1973 Annual Book of ASTM Standards.

- \*D 388 - 72 Clasificación de los carbones por rango.
- D 2795 - 69 Análisis de cenizas del carbón y coque.
- D 3174 Análisis de cenizas en una muestra de carbón y coque.
- \*D 1756 - 69 Cloro en carbón.
- \*D 291 - 72 Recolección de una muestra bruta de carbón.
- \*D 2234 - 69 Peso del carbón bituminoso molido.
- D 2798 - 72 Determinación microscópica de la reflectancia de los componentes orgánicos de una muestra pulida de carbón.
- D 440 - 49 Pruebas de fractura en la caída para el carbón
- \*D 547 - 69 Índice polvoriento del carbón.
- \*D 1857 - 68 Fusibilidad de las cenizas del carbón.
- \*D 1412 - 68 Equilibrio de humedad del carbón a 96% ó 97% de humedad relativa y 30°C.
- \*D 2014 - 71 Expansión o contracción del carbón por medio del horno de solera.
- \*D 720 - 72 Índice libre de hinchamiento del carbón.
- D 409 - 71 Movilidad del carbón por el método de la máquina de dureza.

- \*D 2015 - 72 Poder calorífico bruto de combustibles sólidos por la bomba calorimétrica adiabática.
- D 2961 - 71 T Humedad en el carbón.
- D 2799 - 73 Determinación microscópica de volúmen en % de componentes físicos del carbón.
- D 3173 - 73 Análisis de humedad de una muestra de carbón y coque.
- D 1812 - 69 Propiedades plásticas del carbón por medio del plastómetro Gieseler.
- D 2796 - 72 Clasificación litológica y componentes físicos del carbón.
- D 3176 - 73 Especificación para la determinación del análisis de carbón y coque.
- D 3177 - 73 Pruebas de azufre total en una muestra de análisis de carbón y coque.
- D 3178 - 73 Pruebas de carbono e hidrógeno en una muestra de carbón y coque.
- D 3179 - 73 Pruebas para nitrógeno en un análisis de muestra de carbón y coque.
- D 2639 - 71 Propiedades plásticas del carbón.
- D 2797 - 72 Preparación de muestras de carbón para análisis microscópico por reflexión de la luz.
- D 3172 - 73 Análisis próximo del carbón y coque.
- D 197 - 71 Muestreo y pruebas de finura del carbón pulverizado.

- \*D 271 - 70 Muestreo y análisis de carbón y coque en el laboratorio.
- D 492 - 58 Muestreo de carbones de acuerdo a su contenido de cenizas.
- \*D 2013 - 72 Muestreo de carbón y preparación para análisis.
- \*D 410 - 62 Análisis del tamizado del carbón.
- D 311 - 69 Análisis del tamizado del carbón bituminoso.
- D 310 - 69 Clasificación de la antracita.
- \*D 431 - 69 Clasificación del carbón para análisis del tamizado.
- \*D 1759 - 69 Azufre en las cenizas del carbón.
- D 2492 - 68 Formas de azufre en el carbón.
- D 2961 - 71 T Humedad total en el carbón reducido a malla No. 8
- D 41 - 69 Prueba de tambor para el carbón.
- D 3175 - 73 Prueba de materia volátil en el análisis de una muestra de carbón.
- \*D 121 - 72 Carbón y coque.
- \*D 409 - 69 Poder calorífico bruto y neto de combustibles sólidos y líquidos.

\* Aprobado como ANS (American National Standard) por la American National Standards Institute.

#### 2.4.4. PROPIEDADES FISICAS.

La A.S.T.M. ha adoptado procedimientos normalizados para la determinación de las densidades verdaderas y aparentes del carbón. Hay que distinguir entre la densidad aparente de un trozo de material poroso, y la densidad verdadera de la sustancia que forma dicho trozo.

Los calores específicos de los carbones difieren considerablemente, dependiendo ellos de la clase de carbón, de sus cenizas y contenidos de humedad, etc.

La densidad a granel o en masa es el peso en kilogramos por metro cúbico del conjunto de carbón en trozos, comprendiendo los espacios vacíos entre éstos; interesa en el almacenamiento del carbón y en su preparación para cargarlo en los hornos para coquizar con obtención de subproductos. Los factores que intervienen en la densidad a granel son la densidad del material, sus diversos tamaños, el contenido de humedad, su grado de compacidad y la utilización de aceite en la preparación del carbón. Las densidades típicas de los carbones son las siguientes: subbituminosos y bituminosos altos en volátiles, 670 a 900 Kg/m<sup>3</sup>; bituminosos bajos y medios en volátiles, 780 a 910 Kg/m<sup>3</sup>; antracita, 800 a 930 Kg/m<sup>3</sup>.

La estabilidad del tamaño se refiere a la capacidad del carbón para resistir a su ruptura durante su manipulación y expedición o embarque. Se determina dejando caer dos veces una muestra de 22.7 Kg (50 lb) de carbón sobre una placa de acero desde una altura de 1.83 m. (6'). Partiendo de la distribución por tamaños antes y después de este ensayo, se expresa la estabilidad del tamaño con un factor de porcentaje.

El ensayo de friabilidad mide la tendencia del carbón a romperse durante su manipulación. Es realmente el complemento de la estabilidad del tamaño y se determina por el ensayo estándar al tambor.

En general, los carbones bituminosos altos en volátiles son menos friables que los bajos en volátiles.

El índice de molibilidad se emplea para indicar la facilidad relativa con que se pulveriza el carbón. La A.S.T.M. ha adoptado los métodos de la máquina Hardgrove y el molino de bolas en un intento de normalizar los procedimientos. El método de la máquina Hardgrove, mediante el empleo de una máquina moledora de diseño especial, suministra un índice de molibilidad relativa basado sobre un carbón que se supone tiene un índice de 100. El método de molino de bolas determina las cantidades de energía necesarias para pulverizar distintos carbones colocando una muestra de cada uno de ellos en un molino de bolas y hallando el número de revoluciones necesario para molerla de modo que su 80% pase por el tamiz. No. 200.

## 2.5. CLASIFICACION DE LOS CARBONES.

Debido a la naturaleza variable y compleja, los intentos para clasificar los carbones se han basado sobre casi todas sus características físicas, químicas o de utilización; pero pocos han sido aceptados de una manera general. La ASTM ha adoptado métodos estándares para la clasificación de los carbones según su calidad, variedad, grado y tamaño.

En la clasificación según su calidad, los carbones se agrupan de --

acuerdo a su grado de metamorfismo, o alteración progresiva por procesos dinomocímicos, en series desde el lignito a la antracita. El método ASTM se basa en el carbón fijo y el poder calorífico sobre la base exenta de materia mineral. Se emplean pocas propiedades físicas para diferenciar los carbones de calidad inferior.

El carbón fijo seco y su poder calorífico en húmedo se calculan bajo la base de dicho material exento de materia mineral por medio de las fórmulas siguientes:

$$\text{C.F. seco exento de m.m.} = \frac{(\text{C.F.} - 0.15 S)}{100 - (M + 1.08 A + 0.55 S)} \times 100$$

$$\text{M.V. seca exenta de m.m.} = 100 - \text{C.F. seco exento de m.m.}$$

$$\text{Poder calorífico} = \frac{(\text{Kcal/Kg} - 28 S)}{100 - (1.08 A + 0.55 S)} \times 100$$

en donde:

m.m. = materia mineral

C.F. = porcentaje de carbón fijo.

M.V. = porcentaje de material volátil.

M. = porcentaje de humedad.

A. = porcentaje de cenizas.

S. = Porcentaje de azufre.

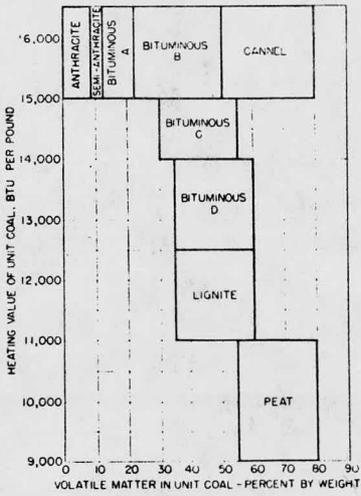
La humedad se refiere a la que contiene el carbón del lecho natural, pero no comprende el agua visible sobre su superficie.

También se clasifican los carbones según su variedad, es decir, de acuerdo con la alteración natural y bioquímica de los componentes de la --

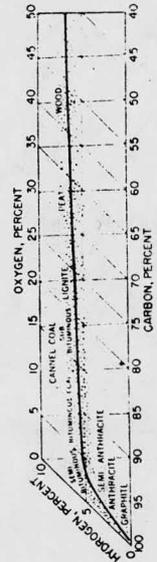
| PERCENT V.M. (Dry Basis) BY WEIGHT | ANTHRACITIC          |    | BITUMINOUS                      |                      |           |  |                   |  | SUB-BITUMINOUS        |            | LIGNITIC        |  |
|------------------------------------|----------------------|----|---------------------------------|----------------------|-----------|--|-------------------|--|-----------------------|------------|-----------------|--|
|                                    | NONWEATHERING        |    |                                 | WEATHERING           |           |  | NONWEATHERING     |  |                       | WEATHERING |                 |  |
|                                    | 98                   | 92 | 86                              | 69°F. C. (Dry Basis) |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
| 1                                  | META ANTHRACITE      |    |                                 |                      |           |  |                   |  |                       |            | CONSOLIDATED    |  |
| 2                                  | ANTHRA CITE I 2      |    |                                 |                      |           |  |                   |  |                       |            | UNCONSOLIDATED  |  |
| 8                                  | SEMI ANTHRA CITE I 3 |    |                                 |                      |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
| 14                                 |                      |    | LOW VOLATILE BITUMINOUS II 1    |                      |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
| 22                                 |                      |    | MEDIUM VOLATILE BITUMINOUS II 2 |                      |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
| 31                                 |                      |    | HIGH VOLATILE A BITUMINOUS II 3 |                      |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
|                                    |                      |    | HIGH VOLATILE B BITUMINOUS II 4 |                      |           |  |                   |  |                       |            |                 |  |
|                                    |                      |    | HIGH VOLATILE C BITUMINOUS II 5 |                      |           |  |                   |  | SUBBITUMINOUS A III 1 |            |                 |  |
|                                    |                      |    | VARIETY 1                       | VARIETY 2            | VARIETY 3 |  |                   |  | SUBBITUMINOUS B III 2 |            |                 |  |
|                                    |                      |    |                                 |                      |           |  |                   |  | SUBBITUMINOUS C III 3 |            |                 |  |
|                                    |                      |    |                                 |                      |           |  |                   |  | LIGNITE IV 1          |            | BROWN COAL II 2 |  |
|                                    | NON-AGGLOMERATING    |    | AGGLOMERATING                   |                      |           |  | NON-AGGLOMERATING |  |                       |            |                 |  |

OVER 14000  
14000  
13000  
11000  
9500  
8300  
UNDER 8300  
BTU (Moist Basis) PER POUND

CLASIFICACION DE LOS CARBONES POR SU RANGO SEGUN ASTM (1938)



CLASIFICACION DE LOS CARBONES SEGUN PARR.



CLASIFICACION DE LOS CARBONES SEGUN RALSTON.

CLASIFICACION DE LOS CARBONES SEGUN LA ASOCIACION FRANCESA  
DE NORMALIZACION

| TIPO DE CARBON            | MATERIA VOLATIL           |                              | INDICE DE HINCHAMIENTO AL CRISOL |                          |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|                           | LIMITE INFERIOR           | LIMITE SUPERIOR              | LIMITE INFERIOR                  | LIMITE SUPERIOR          |
| ANTRACITAS                |                           | $\leq 8 \%$                  | COQUE                            | PULVURIENTO              |
| NEGROS O ANTRACITOSOS     | $> 8 \%$                  | $\leq 14 \%$                 | COQUE                            | PULVURIENTO              |
| CUARTO GRASOS             | $\geq 12 \%$              | $\leq 16 \%$                 |                                  | $\leq 1.5$               |
| SEMI-GRASOS               | $\geq 13 \%$<br>$> 16 \%$ | $\leq 16 \%$<br>$\leq 22 \%$ | $> 1.5$                          | $\leq 2.5$<br>$\leq 2.5$ |
| GRASOS DE LLAMA CORTA     | $\geq 18 \%$<br>$> 22 \%$ | $\leq 22 \%$<br>$\leq 27 \%$ | $> 2.5$<br>$\geq 2.5$            |                          |
| GRASOS PROPIAMENTE DICHOS | $> 27 \%$                 | $\leq 40 \%$                 | $\geq 4.0$                       |                          |
| GRASOS DE LLAMA LARGA     | $\geq 30 \%$<br>$> 40 \%$ | $\leq 40 \%$                 | $\geq 2.0$<br>$\geq 2.0$         | $< 4.0$<br>$\leq 4.0$    |
| SECOS DE LLAMA LARGA      | $\geq 34 \%$              |                              |                                  | $< 2.0$                  |

| CLASE            | GRUPO            | %<br>CARBON FIJO | %<br>MATERIA VOLATIL | Btu/lb<br>PODER CALORIFICO                                      | CARACTER                    |
|------------------|------------------|------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| I ANTRACITAS     | 1. METAANTRACITA | 98               | 2                    | 13 800 / 14 000   | NO AGLOMERANTE              |
|                  | 2. ANTRACITA     | 92 - 98          | 2 - 8                |   |                             |
|                  | 3. SEMIANTRACITA | 86 - 92          | 8 - 14               |   |                             |
| II BITUMINOSO    | 1. BAJA VOLATIL  | 78 - 86          | 14 - 22              | 14 000<br>13 000 - 14 000<br>11 500 - 13 000<br>10 500 - 11 500 | GENERALMENTE<br>AGLOMERANTE |
|                  | 2. MEDIA VOLAT.  | 69 - 78          | 22 - 31              |   | AGLOMERANTE                 |
|                  | 3. ALTA VOL. A   | 69               | 31                   |   |                             |
|                  | 4. ALTA VOL. B   |                  |                      |   |                             |
|                  | 5. ALTA VOL. C   |                  |                      |   |                             |
| III SUB-BITUMIN. | SUB-BITUMIN. A   |                  |                      | 10 500 - 11 500   | NO AGLOMERANTE              |
|                  | SUB-BITUMIN. B   |                  |                      | 9 500 - 10 500  |                             |
|                  | SUB-BITUMIN. C   |                  |                      | 8 300 - 9 500   |                             |
| IV LIGNITO       | LIGNITO A        |                  |                      | 6 300 - 8 300   |                             |
|                  | LIGNITO B        |                  |                      | 6 300   |                             |

% ceniza

4-19

3-32

3-16

4-19

CLASIFICACION DE LOS CARBONES POR CATEGORIA (ASTM 1973)

planta original.

La clasificación por rango, está basada en el análisis próximo de los carbones.

La clasificación de Ralston está basada en el análisis último de los carbones.

La clasificación de Parr está basada en el contenido de materia volátil del carbón.

## 2.6. TIPOS DE CARBON.

Los carbones bituminosos y sub-bituminosos están clasificados en cuanto a su tipo, por la relativa cantidad de constituyentes petrográficos "antraxilón" y la materia "atrita" finamente dividida. En los carbones bandeados, ambos constituyentes se presentan en variada proporción. Los carbones no bandeados son las hullas grasas y el lignito.

Los carbones bandeados están divididos en tres tipos: carbón brillante, carbón sub-bituminoso y carbón bituminoso.

### 2.6.1. CARBON BRILLANTE.

Contiene principalmente antraxilón y atrita con el tipo traslúcido -- predominante. Consiste en una sucesión de capas alternas irregulares de: a) material negro homogéneo con lustre vítreo brillante; b) material estriado, menos brillante y negro grisáceo con lustre sedoso; y c) bandas generalmente más delgadas de partículas pulverulentas o fibrosas. La diferencia de brillo o lustre de las bandas es mayor en los carbones bituminosos que en los sub-bituminosos.

### 2.6.2. CARBON SUB-BITUMINOSO.

Se encuentra una proporción equivalente de antraxilón y atrita, predominando la atrita opaca. Tienen comunmente un lustre mate y un color -- negro grisáceo y de estructura compacta, conteniendo a menudo algunas delgadas bandas irregulares con lustre vítreo. Es duro y tenaz y se rompe con fractura irregular y a veces astillada. Arde con facilidad y no se hincha -- cuando se calienta.

### 2.6.3. CARBON BITUMINOSO.

Predomina la atrita. Tiene fractura regular en blocks en forma de paralelepípedos, con lo que se conoce como carbón block.

### 2.6.4. HULLAS GRASAS.

Carbón no bandeado de textura compacta y uniforme, de granos finos. Su color es de gris oscuro, con lustre grasiento, y su fractura es -- concoide. No se apelmaza, rinde un gran porcentaje de materia volátil, se enciende fácilmente y arde con llama humeante y luminosa.

### 2.6.5. CARBON BOGHEAD.

Carbón no bandeado. Aspecto y comportamiento en la combustión a la hulla grasa. Se caracteriza por un alto porcentaje de restos de algas y materia volátil. En su destilación, da rendimientos extraordinariamente altos en alquitrán y aceite.

La clasificación de la ASTM según el grado, constituye realmente

un sistema abreviado para designar su tamaño y su contenido de impurezas orgánicas. Para la clasificación por tamaño de los carbones, está la indicación en "Standards on Coal and Coke".

Comercialmente se indican los carbones por expresiones, tales como bocamina (o como sale de la mina), en donde el carbón se presente en trozos sin tamizar procedentes de la mina; menudos, que son los que pasan por un tamiz de determinada abertura.

## 2.7. EDADES DE LOS CARBONES.

En el carbón mineral se distinguen unos carbones de otros por su categoría, que significa el grado de carbonización que ha alcanzado. Al formarse el carbón, pasa de la etapa turba a la antracita a través de una serie creciente de grados o categorías; en esta transición va aumentando el contenido de carbono. Así, progresivamente encontramos turba, lignito, hulla, antracita y grafito.

Todas estas etapas se encuentran entrelazadas en la naturaleza, pues en realidad es una evolución y por lo tanto se pasa por todos los estados intermedios posibles.

Se han establecido tres etapas típicas en la génesis de los carbones que son: la de la turba, la del lignito y la de la hulla.

### 2.7.1. TURBA.

La etapa de la turba es una acumulación de materia orgánica formada principalmente en los bosques o en los charcos, se caracteriza por la presencia de tallos, hojas, raíces y cortezas alteradas químicamente o sin

alterar. La masa que ha alcanzado esta etapa tiene propiedades ácidas y consiste en un gel húmico plástico con estructura estratificada; su período geológico del yacimiento es el actual.

### 2.7.2. LIGNITO.

El lignito se forma de la exuberante vegetación de matorral de transición que crece sobre la turba; bosques inmensos son formados precedidos por pronunciados hundimientos de tierra y la inundación del bosque, que pasado un tiempo, mueren los árboles. La etapa la constituyen fundamentalmente restos de plantas inalteradas y el conjunto es amorfo; la masa pierde su elasticidad y su porcentaje en carbono aumenta, se comporta altamente soluble en álcali caliente; su período geológico del yacimiento es terciario.

### 2.7.3. HULLA.

En la hulla, la formación se desarrolla primariamente en condiciones idénticas a la formación de lignitos y de la turba influenciando además los factores geológicos, la temperatura y la presión a que han estado expuestas las capas. En la etapa de la hulla desaparecen los últimos vestigios de ácidos solubles y la materia adquiere un aspecto mate lustroso. Su período geológico del yacimiento es el carbónico.

## 2.8. PETROGRAFIA Y CARACTERISTICAS QUIMICAS.

Si observamos y examinamos una muestra de carbón mineral procedente de un manto carbonífero, encontramos dos constituyentes perfecta--

mente definidos: carbón propiamente dicho y materia orgánica mineral.

La materia mineral que se encuentra en el carbón y que viene a constituir la ceniza, se ha originado o proviene de la planta original, de la deposición sedimentaria, de las aguas terrestres de percolación que atraviezan depósitos minerales y depositan en las fisuras o grietas. La materia mineral se compone de pizarra, arcilla, piedra de arenisca, esquistos bituminosos, carbonatos, piritita y yeso.

Dentro de las grietas o fisuras se encuentran distribuidos generalmente, carbonatos de calcio o de hierro, sulfatos de calcio, sodio, magnesio en pequeña cantidad.

El carbón se encuentra repartido en vetas finas o microvetas, sin embargo se distinguen tres constituyentes macroscópicos y un intermedio formado por dos de los constituyentes definidos. Los tres constituyentes principales son:

#### 2.8.1. FUSITA.

O carbón fibroso, fácilmente pulverizable, muy parecido al carbón vegetal y con estructura porosa; el contenido en cenizas de este constituyente es variable.

#### 2.8.2. VITRITA.

O carbón compacto brillante, lustroso, muy frágil, se desmorona entre los dedos formando cubitos; la ceniza contenida en la vitrita es muy poca, alrededor de 1%.

| LITOTIPO | ASPECTO  | GRAVEDAD<br>ESPECIFICA             | CENIZAS                    | ANALISIS DE LITOTIPOS DE UN CARBON<br>DE ILLINOIS BITUMINOSO ALTA<br>VOLATIL |                |                               | DUREZA |
|----------|--|------------------------------------|----------------------------|--|----------------|-------------------------------|--------|
|          |  |                                    |                            | MATERIA<br>VOLATIL   | CARBON<br>FIJO | PODER<br>CALORIFICO<br>Btu/lb |        |
| VITRITA  | BRILLO U-<br>UNIFORME<br>BANDAS<br>NEGRAS        | 1.3                                | 0.5%-1.0%                  | 35.1 %   | 64.9 %         | 14 438                        | 2      |
| CLARITA  | LAMINADO<br>BANDAS<br>BRILLOSAS<br>Y MATE        | 1.3                                | 0.5% - 2.0%                | 40.3 %   | 59.7 %         | 14 600                        | 3      |
| DURITA   | BRILLANTE<br>NO REFLE-<br>JA. LAMINA<br>DO POBRE | 1.25-1.45                          | 1.0% - 5.0%<br>3.0% - 5.0% | 53.8 %   | 46.2 %         | 15 371                        | 7.5    |
| FUSITA   | FRAGMEN-<br>TOS COMO<br>CARBON -<br>DE LEÑA.     | 1.35-1.45<br>BLANDA<br>1.6<br>DURA | 5.0% - 1.0%                | 9.5 %  | 90.5 %         | 15 632                        | 1      |

### 2.8.3. DURITA.

O carbón de bandas duras, textura apretada, que al fracturar presenta superficie aterronada o mate; el contenido de ceniza es alta en este constituyente.

### 2.8.4. CLARITA.

Es un estado intermedio entre la Durita y la Vitrita, es una forma de transición.

La composición química de las cenizas de los constituyentes del carbón es esencialmente diferente. La cantidad de sílice y alúmina, se presentan en mayor porcentaje en la Durita, alrededor de 50% y 42% respectivamente; el óxido férrico es aproximadamente igual en la Fusita, Clarita y Vitrita, aproximadamente un 3%, en la Durita 1.4% aproximadamente. La cal se muestra en mayor proporción en la Fusita y es de 57% aproximadamente.

El peso específico de los constituyentes del carbón varía entre los límites siguientes:

|         |                |
|---------|----------------|
| VITRITA | 1.23% a 1.34 % |
| DURITA  | 1.20% a 1.56 % |
| FUSITA  | 1.27% a 1.86 % |

las propiedades coquizantes manifiestas en un carbón son inherentes al componente Vitrita, ya que dichas propiedades no se presentan en la Fusita y son muy débiles en el componente Durita.

Técnicamente interesa más el carbón como un todo, es decir, en su

conjunto, para deducir su comportamiento en las aplicaciones industriales. Al respecto, diremos que: Las propiedades generales de un carbón varían ampliamente. Así tenemos carbones con el mismo contenido de materia vo látil procedentes de cuencas diferentes, cuyas propiedades varían ampliamente presentándose grandes diferencias en la combustibilidad, oxidación, combustión espontánea e inclusive producir coque de diferente calidad.

Es pertinente mencionar el fenómeno de oxidación que se presenta en el carbón. Tan pronto como se extrae el carbón de la mina, queda ex- puesto y sometido a la oxidación por el oxígeno del aire. Debido a esto, el carbón es alterado y se produce una pérdida en las propiedades y en su potencia calorífica.

A esta pérdida de cualidades debido a la oxidación, se denomina en la práctica como "envejecimiento", diciéndose que el carbón se disipa o -- envejece.

## 2.9. COMBUSTION ESPONTANEA DEL CARBON.

La principal causa de la combustión espontánea del carbón es la oxi dación. La humedad y las piritas contenidas en el carbón también influyen como muchas otras causas tales como tamaño del carbón y particularmente la segregación de finos que se produce en sus montones, su exposición al - viento, al sol y a fuentes externas de calor.

La oxidación de la sustancia carbonosa se produce inmediatamente cuando el carbón de la cara del lecho o vena está roto y se expone al aire.- La intensidad de oxidación de la mayoría de los carbones solo aumenta muy

lentamente con la temperatura hasta unos 50°C. Si las condiciones son particularmente favorables para la oxidación y son malas para la disipación -- del calor, la temperatura se eleva por encima de la indicada y se produce una oxidación más rápida, con el consiguiente aumento de la temperatura, - hasta que finalmente se alcanza el punto de encendido. La temperatura de encendido de la mayoría de los carbones bituminosos es de 150°C. La an-- tracita no está expuesta a su calentamiento espontáneo.

## 2.10. CARACTERISTICAS Y USOS DEL CARBON MINERAL.

El uso del carbón mineral es de acuerdo con el grado de calidad o - categoría del mismo, considerando, además, en algunos procesos las eda- des geológicas y químicas.

Toda clase de carbón, desde el lignito hasta la antracita, tienen ca- racteres físicos y químicos diferentes. Las características arrojan influ- encias elementales determinantes en la selección de un carbón para una de- terminada aplicación.

No hay una línea que marque las propiedades de los carbones de un tipo y de otro, cada cual penetra gradualmente dentro del grupo siguiente. Pueden encontrarse grandes variaciones en los análisis, no solamente en - cada tipo de carbón, sino también entre los del mismo tipo, veta y mina.

### 2.10.1. TURBA .

Es la acumulación de sustancias vegetales en descomposición en un pantano. Al comienzo de la explotación de la mina, se asemeja al barro, -

pero de él pueden separarse fácilmente trozos de madera, ramas y otras partes vegetales de distintos tamaños. El contenido de agua es muy alto, generalmente entre 80% y 90%, según sale de la mina. La turba secada al aire contiene de 6% a 15% de humedad. Un secado más completo es difícil porque la mayor cantidad de humedad está contenida en las células de la madera y requiere la rotura de las estructuras celulares por medios mecánicos.

Al secarse, la turba es dura y quebradiza y es un buen combustible, pero su poder calorífico es pobre; está generalmente entre los 6 000 Btu/lb y los 9 000 Btu/lb. Es más pesada que el carbón y por ser desmenuzable es difícilmente de manejarla o de encender. El costo de la turba, lavada y secada es caro, por lo que no puede competir con el carbón.

La turba secada al aire se usa en algunos países de Europa para uso doméstico. Puede ser briquetada solamente por presión o mediante alquitrán, brea y otra sustancia. Ha sido carbonizada a bajas temperaturas pero sus usos principales en los Estados Unidos son como integrante de fertilizantes, acondicionadores de tierra, material de envoltura para ciertos productos y material aislante.

### 2.10.2. LIGNITO.

Se aplica este nombre al producto que resulta de las primeras etapas de la carbonización de la turba. Generalmente es, aunque no siempre, más o menos leñoso y más compacto que la turba, de color marrón oscuro, casi negro.

Según sale de la mina, contiene 40% a 50% de humedad, solo se uti-

liza en aquellos lugares próximos a la superficie y al lugar de utilización, pues el transporte de bruto grava el costo, por lo que tiene que ser desecado a menos del 15% de agua y briquetado para su consumo; expuesta al aire libre, se afloja y desmenuza en trozos. Por esta razón es probable que incurra en combustión espontánea si no se le almacena convenientemente. /

[ Su poder calorífico es de 5 500 Btu/lb de lignito no secado y entre 10 000 Btu/lb y 12 000 Btu/lb en lignito seco y libre de cenizas. ]

El lignito se usa más que la turba y su uso como combustible en los Estados Unidos aumenta día a día. La disminución en la provisión de carbones de buena calidad, ha dirigido la atención de los investigadores hacia el mejoramiento de los métodos para el uso del lignito. Por su bajo poder calorífico y su gran contenido de humedad, el lignito no puede competir en precio con los combustibles de calidad para uso doméstico o industrial. -- A pesar de estas desventajas, se ha hecho uso del lignito en los Estados -- Unidos como combustible para vapor y para la fabricación de gas en generadores. Se ha economizado en el transporte de lignito de baja calidad --- mediante su carbonización completa o parcial y presionando el carbón resultante en briquetas. En Alemania han sido ideados procesos especiales para la coquización del lignito; un tipo inferior de carbón lignítico ha sido ampliamente usado como materia prima para la producción de aceites sintéticos por hidrogenación. Algunos lignitos han sido extractados con sol--ventes para recuperar una porción cerosa conocida como "cera Montan".

### 2.10.3. SUB-BITUMINOSO.

Es generalmente de un género lustroso de brillo embreado pero muy distinto y variable en apariencia y composición química. En la práctica -- puede distinguirse del carbón bituminoso por su pérdida de humedad y subsecuente desmenuzamiento paralelo al lecho del primero al estar en la intemperie. Recién sacado de la mina puede contener hasta un 40% de humedad pero ésta va generalmente del 12% al 30%. Los de buena calidad poseen un poder calorífico de 8 000 Btu/lb a 11 000 Btu/lb al ser sacada de la mina.

### 2.10.4 BITUMINOSO

Es el más importante en el rango del carbón y más aún el combustible norteamericano más usado e importante. Su importancia en calidad y su diversidad de aplicación han hecho necesaria su clasificación en cinco tipos: tres alto volátiles, uno medio volátil y un grupo de bajo volátil. El carbón bituminoso tiene un poder calorífico que va desde 800 a 15 500 Btu/lb. de carbón al salir de la mina.

Los carbones bituminosos bajo volátiles se denominan también carbones semi-bituminosos. Por los altos porcentajes de carbono fijo que contienen producen poco humo durante la combustión.

Tienen un poder calorífico de 14 500 a 15 000 Btu/lb. mayor que -- otros carbones y se les requiere para la producción de vapor.

Los carbones usados en la producción de coque y de gas en los EE UU son especialmente bituminosos.

El carbón bituminoso y sub-bituminoso es utilizable y recomendable en aquellos carbones que no son aptos para la producción de coque.

#### 2.10.5. SEMI-ANTRACITA.

Son carbones con propiedades que van desde las propias de los carbones bituminosos bajo volátiles a las propias de la antracita. Por su contenido volátil de 8% a 14% arden con más facilidad que la antracita, con una pequeña llama amarilla. Nunca se han encontrado grandes cantidades. En algunas oportunidades se le vende para uso doméstico como antracita.

#### 2.10.6. ANTRACITA.

Se denomina comunmente como "carbón duro" por sus características de dureza y resistencia. Se conoce generalmente como Pensilvania por los grandes y conocidos depósitos existentes en la parte central y N.E. de dicho estado. Los depósitos de antracita son generalmente empinados - algunas veces verticalmente o hacia abajo, irregularidades que aumentan las dificultades de explotación y el costo de producción, que casi dobla el del carbón bituminoso.

La antracita se caracteriza por su apariencia lustrosa y textura -- uniforme. Es el más concentrado de los combustibles con un peso específico de 1.47 a 1.70. Arde lentamente y a altas temperaturas con una llama corta azul pálido, sin humo. Tiene un alto poder calorífico: 13 000 Btu/lb- a 14 000 Btu/lb. No es coquizable y no tiene tendencia a suavizar. Con un contenido de materias volátiles superior al 8% no produce alquitrán al ca-

lentarse.

Se obtiene un rendimiento de 4000 a 8000 pies cúbicos de gas por tonelada, según el contenido de materias volátiles, por calentamiento de la antracita a una temperatura superior a los  $760^{\circ}\text{C}$  ( $1400^{\circ}\text{F}$ ).

Casi al 80% del gas es hidrógeno. La antracita es primariamente un combustible doméstico; desde la primera guerra mundial, su producción ha disminuído grandemente debido al aumento del consumo de aceites, carbón bituminoso y gas.

El carbón utilizado en la combustión puede ser antracita para procesos especiales y en forma limitada.

En el proceso de combustión, interesa principalmente los calores de combustión, es decir el poder calorífico de la sustancia carbonosa a emplear, cuantificando este poder es característico aproximadamente para las diferentes categorías. Así tenemos para la antracita 8 000 Kcal., lignito 5 000 Kcal., la turba 3 700 Kcal. estos valores son por kilogramo de sustancia carbonosa seca al aire con 4%, 4%, 15% y 25% de agua respectivamente.

El carbón utilizado en el proceso de combustión es manejado, ya sea alimentándolo en forma pulverizada en quemadores especiales, o bien en lechos del mismo colocados sobre parrillas soplando o aspirando a través del lecho el aire necesario para la combustión.

Ejemplos de utilización del carbón en forma pulverizada, lo constituyen las grandes instalaciones de calderas para la generación de energía eléctrica. Se utiliza también en hornos metalúrgicos y cerámicos por-

CAMBIOS EN LA COMPOSICION DE LA MADERA, TURBA Y CARBONES DURANTE EL  
PROCESO DE CARBONIZACION.

| GENERO         | PORCENTAJES SOBRE BASE SECA   |           |             |           |                    |
|----------------|-------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------------|
|                | HUMEDAD<br>ESTADO<br>PRIMARIO | CARBONO   | HIDROGENO   | OXIGENO   | MATERIA<br>VOLATIL |
| MADERA         | 20 %                          | 50 %      | 6.0 %       | 42.5 %    | 75 %               |
| TURBA          | 90 %                          | 60 %      | 5.5 %       | 32.3 %    | 65 %               |
| LIGNITO        | 40 - 20 %                     | 65 - 75 % | 5.0 %       | 16 - 25 % | 40 - 50 %          |
| SUB-BITUMINOSO | 20 - 10 %                     | 75 - 80 % | 4.5 - 5.5 % | 12 - 21 % | 45 %               |
| BITUMINOSO     | 10 %                          | 75 - 90 % | 4.5 - 5.5 % | 5 - 20 %  | 18 - 40 %          |
| SEMI-ANTRACITA | 5 %                           | 90 - 92 % | 4.0 - 4.5 % | 4 - 5 %   | 5 - 20 %           |
| ANTRACITA      | 5 %                           | 92 - 94 % | 3.0 - 4.0 % | 3 - 4 %   | 15 %               |

quemado directo para el calentamiento radiante de tubos y para los procesos de gasificación. La sinterización constituye otro ejemplo de la utilización del carbón quemado en parrillas.

Indiscutiblemente que el mayor uso del carbón mineral en la industria, es para la fabricación del reactivo y combustible coque.

Otro uso importante del carbón es la hidrogenación en cuyo proceso se calienta a unos 400 a 450 grados centígrados el carbón bituminoso con hidrógeno y a una porción aproximadamente de unas 200 atmósferas, estas reacciones se efectúan en presencia de agentes catalizadores a base de hierro níquel, es obtenido un aceite que a su vez puede suministrar por fraccionamiento; gasolina, petróleo, aceites para motores y lubricantes.

## 2.11. CUENCAS CARBONIFERAS.

El carbón mineral se encuentra en la naturaleza en yacimientos en forma de mantos, estos mantos a su vez se localizan en determinadas zonas de terreno que cubren una superficie variable y son conocidas como cuencas carboníferas. Estas cuencas tienen forma elíptica en el contorno de sus afloramientos y en su forma tridimensional puede comparársele a una cazuela en lo que respecta a la posición del manto. Las cuencas carboníferas de más importancia, tanto por su potencialidad como por la calidad de los carbones, son, las que se encuentran localizadas en los estados de Coahuila y Nuevo León. Principalmente en el primero.

Existen en México yacimientos de carbón mineral (clasificados en orden de importancia), en Coahuila, Sonora Oaxaca y Nuevo León, así co-

mo otras localidades carboníferas menos importantes, en los estados de Michoacán, Guerrero, Puebla, Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí, Chiapas.

Sin embargo, la región mejor conocida, la más explorada, la única que se explota a la fecha y, por lo tanto, la más importante en la actualidad, es la Región Carbonífera de Coahuila, que ocupa la porción centro-oriental del estado de Coahuila.

En la región carbonífera de Coahuila, las diversas capas de carbón, de una localidad determinada, están separadas por capas de otros materiales tales como arcilla, limonita, lutita ó arenisca, cuyo espesor varía desde unos cuantos centímetros hasta uno o más metros. La masa misma de carbón contiene inclusiones de materia inorgánica tales como yeso, arena, pirita, arcilla, etc.

La región cubre una superficie de unos 12 000 Km cuadrados y está constituida por varias secuencias geológicas que están en explotación y que son 7 a la fecha, con los nombres de: Sabinas, Las Esperanzas, San Patriocio, Saltillito, Lampacitos, San Blas y Fuente. Cubriendo más o menos los municipios de: Candela, Frontera, Monclova, Juárez, Progreso, Nadores, Cuatro Ciénegas, San Buenaventura, Sabinas, San Juan de Sabinas y Melchor Múzquiz.

La categoría de los carbones que se encuentran en la zona carbonífera mencionada se presenta en la forma siguiente: Para las cuencas de Sabinas, Las Esperanzas, Saltillito y Lampacitos, los carbones corresponden a la clase II Bituminosos con propiedades coquizables, es pertinente anotar que el carbón de la cuenca de Lampacitos presenta una propiedades de hinchamiento muy excesivas dentro de los hornos. Las cuencas de San-

Blas, San Patricio y Fuente contienen carbones de clase III Sub-bituminosos, practicamente de grado no coquizable, La variedad de Lignito también se encuentra en esta zona muy ligeramente repartida, pero casi en los lugares - que se localiza el carbón bituminoso.

Como simple comparación se anota un cuadro que contiene análisis- de carbón correspondiente a la cuenca de Sabinas y carbón correspondien-- te a la cuenca de Fuente como ejemplo de las dos clases:

| MINA                                 | Mat. Vol. % | Carbono Fijo % | Ceniza % | Azufre % | Indice de Hinchamien to libre. - |
|--------------------------------------|-------------|----------------|----------|----------|----------------------------------|
| Rosita                               | 24.4        | 47.1           | 28.5     | 1.10     | 9.0                              |
| Cloete                               | 22.6        | 52.3           | 25.1     | 1.10     | 9.0                              |
| Palaú                                | 21.2        | 57.2           | 21.6     | 1.30     | 8.0                              |
| Sauceda                              | 21.1        | 55.4           | 22.5     | 1.30     | 8.0                              |
| Sabinas                              | 22.0        | 52.6           | 25.4     |          | 6.0                              |
| San Felipe                           | 19.2        | 60.9           | 19.9     | 1.25     | 6.0                              |
| El Coyote                            | 20.8        | 54.1           | 25.1     | 1.25     | 7.0                              |
| Rancherías                           | 19.5        | 54.5           | 26.0     | 1.06     | 8.5                              |
| Minas 5 H.M.                         | 19.3        | 54.6           | 26.1     | 0.78     | 9.0                              |
| Cuencas de Fuentes de Río Escondido. | 35.2        | 41.9           | 20.6     |          |                                  |

La cuenca de Sabinas es indiscutiblemente hasta el momento actual, la más importante de todas por su explotación intensiva que se ha desarro- llado sobre ella, por la buena calidad de su carbón y por abarcar una ex--

tención de terreno considerablemente grande, su superficie queda comprendida entre noventa a cien mil hectáreas de las cuales solo la quinta parte de ellas, o sea 22 mil hectáreas, se han explotado superficialmente sin llegar a la profundización ya que las explotaciones han partido de los afloramientos, esta cuenca tiene forma de un elipse, sus reservas se han calculado en una forma conservadora alderredor de un mil millones de toneladas de carbón coquizable, se localiza con respecto a las otras cuencas al suroeste de la Fuente y al noreste de la de la Esperanza.

La cuenca de la Esperanza contiene un carbón de excelentes propiedades coquizables, abarca una superficie de aproximadamente veinte mil hectáreas con forma de elipse muy alargada y estrecha, se ha calculado un volúmen de sus reservas entre ciento sesenta y dos millones de toneladas. Se localiza con respecto a las otras cuencas al suroeste y de Sabinas muy cerca.

La cuenca de Saltillito contiene una buena parte de sus carbones coquizables, con su volúmen de reservas de aproximadamente ciento setenta y cinco millones de toneladas. Se localiza al Sur de la cuenca de Sabinas.

La cuenca de Lampacitos contiene carbones poco coquizables que presentan una dilatación excesiva dentro de los hornos tiene una extensión de aproximadamente veinticinco mil hectáreas se ha calculado el volumen de sus reservas en cerca de docientos setenta millones de toneladas, se localiza al suroeste de la de Saltillo, colindando con dicha cuenca.

La cuenca de San Blas es prácticamente poco conocida en cuanto a la calidad de sus carbones con una superficie de sesenta mil hectáreas, se en-

## LOCALIZACION ESQUEMATICA DE LAS CUENCAS CARBONIFERAS DE MEXICO

### LOCALIDADES

- 1.- SAN MARCIAL-STÁ. CLARA, SON.
- 2.- CORRALITOS, CHIH.
- 3.- OJINAGA, CHIH.
- 4.- COLOMBIA, N.L.
- 5.- SABINAS, COAH.
- 6.- ZACUALTIPAN, HGO.
- 7.- TLACOLULAN, VER.
- 8.- TEZOATLAN-MIXTEPEC, OAX.



cuenca situada al Poniente de la cuenca de Lampacitos y separada de esta cuenca por la sierra de Hermanas.

La cuenca de San Patricio al igual que la cuenca de San Blas ha sido poco estudiada, se presume sea la cuenca de mayor superficie de la región carbonífera, con una estimación en reservas de 500 millones de toneladas, Se localiza al suroeste de la cuenca de Saltillo.

La cuenca de la Fuente contiene carbones que no son técnicamente-coquizables, sin embargo, actualmente se ésta utilizando como combustible, para una caldera utilizada en la generación de energía eléctrica, presenta una superficie aproximada de ocho mil hectáreas con reservas entre noventa y trescientos millones de toneladas. Se localiza de Piedras Negras al noreste de la cuenca de Sabinas.

## 2.12. RESERVAS.

Las reservas positivas de carbón mineral en Coahuila, excluyendo la sub-cuenca de Piedras Negras o de Fuente, son, a la fecha de 460 millones de toneladas, incluyendo la de Piedras Negras llegan a 560 millones de toneladas.

Tanto en la Secretaría del Patrimonio Nacional, a través del Consejo de Recursos Naturales no Renovables, como las empresas siderúrgicas, en convenio con la Comisión de Fomento Minero, siguen haciendo trabajos de explotación que habrá de aumentar en forma considerable la cantidad de reservas positivas.

El carbón de Sonora es de tipo Antracítico no coquizable, y en cuano

to al de Oaxaca de acuerdo con las pruebas hechas hasta la fecha, no todo es coquizable.

| ESPEJOR DEL CARRON  | CENIZA %    | MATERIA VOLATIL % | C. FIJO %   | PODER CALORIFICO. Cal/Kg. C.                 | NOTAS Y OBSERVACIONES  |
|---|-------------|-------------------|-------------|--|--|
| 1. SUBCUENCA DE SABINAS<br>1.50 A 2.00 M.   | 30.5 A 38.0 | 19.8 A 22.7       | 45.4 A 49.7 | 5450 A 5800                                  | CARBON ALTAMENTE COQUIZABLE. EN LAS MINAS MANUALES LA CENIZA BAJA A 25-30%, EN LAS MECANICAS SUBE A 35-40%. LAS MINAS DE SAUCEDA Y MIMOSA (BAJO EL CONTROL DE - A. H. M. S. A. ), QUEDAN EN ESTA SUBCUENCA, ASI COMO LOS LOTES NVA. SAUCEDA, NVA. MIMOSA Y KAKANAPO GDE. |
| 2. SUBCUENCA DE SALTILLITO<br>1.5 M.  | 17.8 A 32.8 | 19.6 A 24.9       | 47.6 A 58.2 | 5450 A 7125                                  | CARBON ALTAMENTE COQUIZABLE. LAS MINAS DE BARROTERAN, LA FLORIDA Y LA ESCONDIDA ESTAN EN LA PORCION NOROCCIDENTAL DE ESTA SUBCUENCA CARBONIFERA.   |
| 3. SUBCUENCA DE ESPERANZAS<br>1.00 A 2.00 M.  | 18.2 A 26.5 | 18.5 A 23.6       | 55.0 A 58.0 | ?  | CARBON ALTAMENTE COQUIZABLE. EN LOS EXTREMOS NOROESTE Y SURESTE DE LA SUBCUENCA; EL CARBON TIENE POCA INCLINACION.   |
| 4. SUBCUENCA DE SAN PATRICIO<br>0.60 A 0.80 M.<br>POR EXCEPCION, CAPAS DE MAS - DE 1.00 M.        | 32          | 20.5              | 49          | ?  | EN GENERAL, CAPAS DELGADAS. EN SU PORCION PONIENTE HAY UNA FAJA RESTRINGIDA CON DOS MANTOS POSIBLEMENTE EXPLOTABLES. EN TERRENO CONCESIONADO A LA FUEN DIDORA DE MONTERREY.  |
| 5. SUBCUENCA DE ADJUNTAS<br>MANTOS LENTICULARES - ESP. MEDIO, 1.00 A 2.0 M.                       | 35.1        | 12.9              | 51.4        | 5300   | CARBON DELGADO EN LA MAYOR PARTE DE LA SUBCUENCA. AREAS PEQUEÑAS DE VARIOS CUENTOS DE HECTAREAS CON CAPAS LENTICULARES DE 1 A 2 M. LAS CAPAS SE PROFUNDIZAN A CORTA DISTANCIA DEL AFLORAMIENTO.  |
| 6. SUBCUENCA DE P. NEGRAS (FUENTE)<br>1.60 A 2.00 M.<br>SE ADELGAZA MUCHO HACIA EL ORIENTE Y SUR. | 19 A 28     | 32.8 A 38.2       | 30 A 40     | 5180 A 6200<br>5140 (DATO DEL INC. J. L. V.) | DEBILMENTE COQUIZABLE DE 1.8 A 2.0 M. DE ESPESOR EN LA PORCION NOROESTE. SE ACUNA AL ORIENTE HACIA PIEDRAS NEGRAS Y AL SUR SE PIERDE A PROFUNDIDAD. EN ESTA SUBCUENCA ESTA LA CONCESION SANTO DOMINGO DE C. F. E. - DEBE EXPLORARSE AL SUR DEL LOTE SANTO DOMINGO.       |
| 7. SUBCUENCA DE SAN SALVADOR<br>1.00 M. COMO MAXIMO, EN DOS O TRES CAPAS DELG.                    | SIN DATOS   |                   |             |  | 2 A 3 MANTOS DELGADOS QUE EN ALGUNOS LUGARES SE ACERCAN ENTRE SI PARA DAR HASTA 1 M. DE ESPESOR. EXPLOTACION COSTOSA.  |
| 8. SUBCUENCA DE LAMPACITOS<br>0.80 A 1.00 M.  | 14. A 22    | 14.4 A 18.5       | 58.6 A 70.4 |  | CARRON COQUIZABLE. CAPAS DELGADAS QUE PROFUNDIZAN RAPIDAMENTE.   |
| 9. OTRAS (MONCLOYA, CASTAÑOS...)<br>CARBON MUY DELGADO.   |             |                   |             |  | CARBON EN CAPAS MUY DELGADAS; PROFUNDIZAN RAPIDAMENTE.   |

CARACTERISTICAS DEL CARBON EN LA REGION DE COAHUILA.

### III. COMBUSTIBLES PARA PLANTAS TERMOELECTRICAS.

#### 3.1. ANTECEDENTES DE LA GENERACION DE LA ELECTRICIDAD.

Pueden utilizarse varios métodos para generar electricidad con la energía contenida en diversos tipos de combustibles. Estos métodos van desde el pequeño alternador impulsado por motor usado para producir energía eléctrica en un automóvil hasta grandes y complejas unidades de vapor-generadoras de energía por medios nucleares con una capacidad superior a 1200 MW.

Todos los métodos primarios utilizan un movimiento giratorio mecánico para activar un generador eléctrico.

Durante muchos años se han empleado generadores impulsados por motores diesel a fin de suministrar energía eléctrica a unidades pequeñas. Sin embargo, el uso de los motores diesel para la generación primaria eléctrica ha disminuido durante los últimos 20 años. Todavía se utilizan muchos como fuente de energía o para emergencias en alguna aplicación especial.

Se han diseñado turbinas de gas como fuente de energía para activar generadores y su uso está bastante difundido entre las empresas de servicio público. Su principal ventaja es que pueden arrancar y ponerse en servicio rápidamente. Esto los hace valiosos como fuentes de energía auxiliar.

Para estas aplicaciones, la turbina de gas, por lo general, tiene un escape directamente a la atmósfera. Más recientemente, se han diseñado algunas plantas que utilizan turbinas de gas, primero, para impulsar generadores y luego emplean la descarga de gases calientes de la turbina para ayudar a calentar el agua de la caldera de un generador impulsado por tur-

bina de vapor. Este arreglo se denomina ciclo combinado.

Las turbinas accionadas por vapor para impulsar generadores eléctricos, se utilizan para producir más del 80% de la energía eléctrica mediante el uso de diversos tipos de combustible (combustóleo, gas, carbón, lignito, o combustible nuclear).

### 3.2. METODOS DE PRODUCIR ENERGIA ELECTRICA.

El estudio de la producción de energía de vapor tiene que ver con la transformación de la energía contenida en combustibles en energía de movimiento mecánico. Este proceso se inicia con el quemado del combustible bajo un generador de vapor para evaporar el agua y convertirla en vapor. Después dicho vapor pasa a través de un motor o turbina que produce movimiento mecánico en forma de una flecha rotatoria. La flecha se puede usar directamente para impulsar máquinas, o puede estar conectada a un generador eléctrico para convertir la energía contenida en el combustible en una forma más útil, esto es la energía eléctrica. En general, el estudio de la producción de energía de vapor incluye el análisis y la combustión de combustibles, la transferencia del calor del combustible hacia el agua para formar vapor, y las condiciones del vapor para determinar como se puede obtener su uso máximo. No solo incluye como se puede hacer la transformación, sino también como se puede hacer con mayor eficiencia, esto es, como se puede obtener el máximo de energía eléctrica de una cantidad determinada de combustible.

### 3.2.1 ENERGIA HIDRAULICA

Las cascadas naturales sirvieron como una de las primeras fuentes de energía puesto que el agua que cae contiene energía para hacer girar ruedas de agua. Posteriormente el hombre construyó presas en las corrientes de agua para crear agua que cae, y la energía se usó directamente para girar las rueda de un molino o girar flechas para impulsar otra maquinaria. Después de la invención del generador eléctrico, se desarrolló una turbina hidráulica que hizo posible la conversión de energía contenida en el agua que cae en energía eléctrica. La electricidad generada de esta manera representa una considerable porción de la producción actual total eléctrica de hoy en día.

### 3.2.2. MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

El motor de combustión interna convierte la energía contenida en gas, gasolina y combustóleo en energía mecánica. Por ejemplo, en un automóvil, su motor de combustión interna cambia la energía -- contenida en la gasolina en energía mecánica. Un motor se puede usar directamente, en una locomotora o tractor, o sea, puede usar para impulsar un generador eléctrico. El motor diesel, o motor -- que quema combustible es el tipo usado con más frecuencia para la producción de energía eléctrica. Sin embargo, una cantidad relativamente pequeña de la energía eléctrica total generada se produce de esta manera. Este método se usa principalmente en las plantas industriales y en las instituciones grandes.

### 3.2.3. MOTORES DE VAPOR

El motor de vapor desde hace mucho tiempo ha sido el mejor medio conocido de convertir la energía térmica en energía mecánica. En este proceso, el combustible se quema bajo un generador de vapor y el calor absorbido por el agua produce vapor que impulsa al motor. Existen ciertos factores que limitan la capacidad y eficiencia del motor de vapor y este método no es, actualmente, un productor en gran escala de energía eléctrica.

### 3.2.4 TURBINAS DE VAPOR

La turbina de vapor usa energía térmica en forma de vapor de una manera similar al motor de vapor. Las turbinas de vapor, sin embargo, se pueden construir con capacidades más grandes y eficiencias mayores que los motores de vapor y son el mayor productor de energía eléctrica hoy en día.

### 3.2.5 NUEVOS DESARROLLOS

Uno de los desarrollos recientes en el proceso de la conversión de la energía es la turbina de gas. Este dispositivo utiliza los gases calientes de la combustión directamente en la turbina en donde se expanden en contra de los álabes de la turbina. Actualmente el combustible usado se limita al petróleo aún cuando se está realizando investigación con el carbón.

### 3.3. PASOS EN LA PRODUCCION DE LA ENERGIA ELECTRICA PARTIENDO DEL COMBUSTIBLE.

#### 3.3.1 COMBUSTIBLE A CALOR

El primer paso en el método de producir energía eléctrica a partir del combustible es liberar el calor contenido en el combustible quemando éste. La energía térmica es absorbida por los productos gaseosos formados por la combustión (quemado). Existe la posibilidad de pérdida de energía en este paso debido a la energía remanente en el combustible no quemado, pero esta pérdida se puede eliminar prácticamente por medio de métodos correctos de quemado.

#### 3.3.2 CALOR A VAPOR

El segundo paso en este método es el de transferir la energía térmica que está en los gases calientes al agua de la caldera para producir vapor. En una planta moderna de energía se hacen varios arreglos especiales para incrementar la eficiencia. Los gases calientes se usan para precalentar el agua antes de que entre a la caldera, calentar el vapor a una temperatura más alta después de que sale de la caldera y calentar el aire en el cual el combustible se quema, así como calentar el agua que está en la caldera para producir vapor. Es necesario contar con superficies de calentamiento que absorban fácilmente el calor de los gases calientes y lo transfieran al agua, vapor y aire.

#### 3.3.3 VAPOR A MOVIMIENTO MECANICO

El tercer paso es el de transformar la energía térmica del vapor -

en movimiento mecánico de los álabes de la turbina rotatoria y cam  
biar nuevamente el vapor a agua en el condensador. Las pérdidas -  
implicadas en este paso son pérdidas causadas por la fricción de -  
las partes que se mueven de la turbina y el calor que es transferi-  
do al agua que se usa para enfriar el condensador. La primera pér-  
dida se puede reducir por medio de un diseño y lubricación correc-  
tos, pero el segundo, que es el concepto mayor de pérdida de ener-  
gía en la planta de fuerza es inherente.

#### 3.3.4 MOVIMIENTO MECANICO A ENERGIA ELECTRICA

El cuarto y último paso en la producción de energía eléctrica a ---  
partir del combustible es el de transformar el movimiento mecáni-  
co de la turbina rotatoria en energía eléctrica. Esto se logra fijan-  
do un generador eléctrico directamente a la turbina. Las pérdidas-  
de energía encontradas en este paso son causadas por la fricción de  
las partes que se mueven, resistencia a la rotación del aire y ciertas  
pérdidas eléctricas en el generador que son inevitables.

#### 3.4. RELACION DEL EQUIPO PRINCIPAL DE LA PLANTA DE FUERZA.

La planta de fuerza moderna, que produce energía eléctrica con tur-  
bogeneradores de vapor opera en lo que se conoce como "ciclo cerrado". -  
Esto significa que después que el vapor ha rotado los álabes de la turbina -  
es condensado y dicho condensado se bombea de regreso hacia la caldera -  
para convertirlo nuevamente en vapor. No es posible regresar todo el con-  
densado a la caldera. Parte del vapor se pierde en la atmósfera por fugas

y debe reemplazarse agregando agua.

### 3.5. UBICACION DE LAS PLANTAS DE FUERZA.

La ubicación de una planta de fuerza eléctrica generada por vapor no es cosa del azar. Es el resultado de que se cumplan varios requisitos definidos. Estos se pueden dividir en dos clasificaciones: consideraciones físicas y factores económicos.

#### 3.5.1 CONSIDERACIONES FISICAS

La consideración física más importante es que la planta debe estar ubicada cerca de un suministro adecuado de agua de enfriamiento. - Las necesidades normales son aproximadamente 550 kilos de agua de enfriamiento por cada kilo de carbón quemado. Así pues, la planta debe estar ubicada a un lado de una corriente grande o lago. La - segunda consideración física es la tierra disponible; se necesitan de 50 a 100 hectáreas para edificios, almacenado del carbón y terminales eléctricas. Esta tierra debe estar cerca de un transporte adecuado por ferrocarril y contar con suficientes instalaciones de cambios de vía. Es deseable que el terreno que satisfaga estos requisitos esté ubicado cerca del centro de carga del área que se va a servir.

#### 3.5.2 FACTORES ECONOMICOS

El factor económico entra en cada una de estas consideraciones físicas. La situación ideal sería contar con un terreno adecuado que-

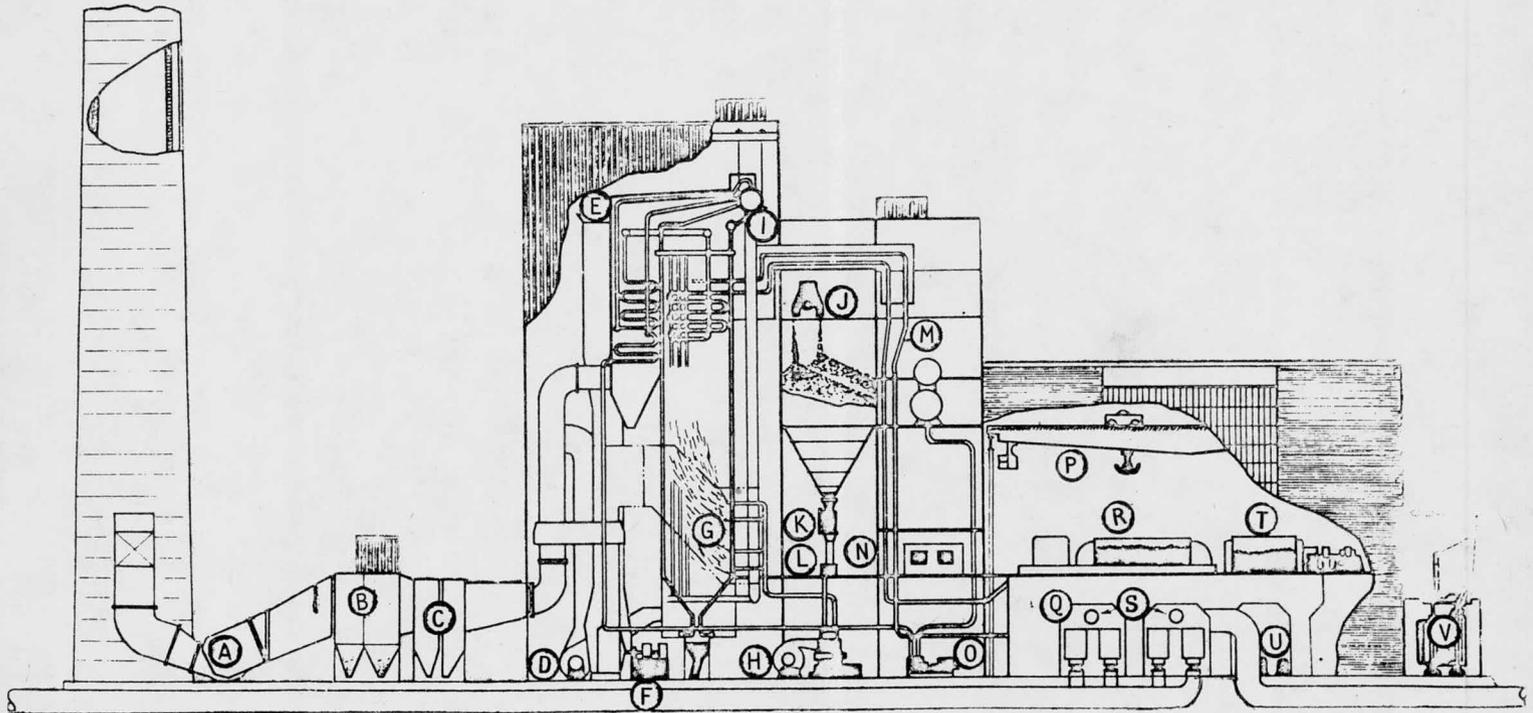
tenga abundante agua de enfriamiento cerca de una mina de carbón y en el centro de un área de carga alta. Rara vez se cumplen todas estas condiciones en la ubicación de las plantas hoy en día. La condición más difícil de satisfacer es la de contar con un centro de carga cerca de una mina de carbón. Las plantas usualmente deben estar ubicadas lejos una de la otra, y el asunto se convierte en la economía y confiabilidad de líneas de transmisión de largas distancias o transporte del combustible en una distancia larga. Las desventajas de las líneas de transmisión largas son las pérdidas en la línea y el costo del mantenimiento. La suspensión del servicio de transporte por ferrocarril debido a huelgas o mal tiempo son factores que hay que considerar en el transporte por distancias largas del carbón.

Las plantas ubicadas en ciudades ofrecen dificultades adicionales. Son altos los precios de los terrenos disponibles, existe la incertidumbre de un suministro adecuado de agua debido a contaminación de las corrientes por el drenaje, y reglamentos de la ciudad que limiten las molestias que causa el humo.

### 3.6. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA.

- A Ventilador de tiro inducido.
- B Precipitador electrostático.
- C Colector de polvos.
- D Ventilador de gas de recirculación.

COMPONENTES DE UNA PLANTA TERMoeLECTRICA



- E Entrada de aire.
- F Ventilador de tiro forzado.
- G Generador de vapor.
- H Pulverizador.
- I Colector de vapor.
- J Descargador de banda.
- K Alimentador de carbón.
- L Básculas.
- M Línea de vapor.
- N Cuarto de control
- O Bombas de alimentación.
- P Grúa.
- Q Condensador.
- R Turbina.
- S Calentadores.
- T Generador eléctrico.
- U Bomba de condensados.
- V Estación principal de servicio. (Transformadores).

## COMPONENTES

## FUNCION

|             |  |
|-------------|--|
| Combustible | Proporciona fuente de energía de <u>hi</u><br>drocarburos. |
| Caldera     | Genera vapor del calor de la com-<br>bustión.              |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Turbina               | Convierte la energía térmica en fuerza rotatoria mecánica.   |
| Generador             | Convierte las fuerzas rotatorias en energía eléctrica.   |
| Condensador           | Convierte el vapor expandido en agua.  |
| Calentadores          | Mejoran la eficiencia termodinámica del ciclo.   |
| Bombas                | Hacen circular diversos fluidos a través de los diferentes sistemas.   |
| Transformadores       | Elevan la fuerza eléctrica al nivel requerido para su transmisión tomando en consideración las pérdidas y las necesidades. |
| Líneas de transmisión | Suministran la energía eléctrica desde el punto de generación hasta los puntos de consumo.                                 |

### 3.7. COMBUSTIBLE DE CARBON Y DISEÑO DE PLANTA.

Los generadores de vapor o calderas, pueden quemar una amplia variedad de combustibles. Cada combustible diferente requiere una cierta diferencia de diseño de la caldera. El combustóleo y gas natural pueden combinarse satisfactoriamente para usarse en un generador de vapor. Numerosas compañías usan esta combinación de combustibles y pueden usar los dos

al mismo tiempo para la combustión de la caldera. El combustible menos costoso se quema generalmente a su máxima intensidad y el resto de la carga térmica es alimentada por el combustible más costoso.

Las calderas con combustión de carbón requieren hogares mayores que las calderas de combustóleo y de gas para la misma liberación de calor. Este es un motivo por el cual, las plantas que queman carbón se diseñan normalmente solo para un combustible. Rara vez se usa carbón como combustible alterno con gas o combustóleo.

Generalmente, el costo del carbón es menor que el costo del combustóleo o del gas natural y este es el motivo primordial por los que el carbón se usa todo lo posible. En plantas que puedan utilizar un doble sistema de combustible, el carbón se quema de una manera exclusiva, excepto durante períodos de operación cuando el manejo de carbón constituye un problema.

Cada tipo de combustible requiere diferente almacenamiento y preparación para poderlo quemar; así mismo requiere también equipo mecánico y sistemas auxiliares diferentes para su combustión en la caldera.

El carbón es el más abundante y también el más complicado y problemático de los combustibles importantes. Su uso implica instalaciones de almacenado y manejo, preparación antes de quemarlo usando trituradores o pulverizadores, equipo de eliminación de la ceniza, recolectores de polvo y sopladores de hollín. La descarga de la chimenea de la caldera puede ser problemática, dependiendo del equipo instalado y de las condiciones locales.

En las plantas de fuerza de servicios centrales modernas se consume carbón en inmensas cantidades. Es ventajoso si el suministro prospec-

tivo del carbón proviene de depósitos con una historia de uso o aplicación y con reservas adecuadas para la vida útil de la planta.

El carbón puede provenir de más de un depósito y el carbón de un depósito puede no ser el mismo que el carbón de otro. Debido a la escala de operaciones, los suministros de carbón pueden provenir de nuevos depósitos con una historia muy limitada. Se deben considerar los siguientes factores para cada carbón:

- a). - Contenido de calor en Btu/lb ó Kgal/kg. Esto afecta la capacidad de quemado, el diseño de la caldera y el tamaño de los ventiladores y ductos relacionados.
- b). - Friabilidad. Los carbones que son más duros de triturar requieren de una mayor capacidad de pulverizador para lograr la misma capacidad de quemado.
- c). - Características de las cenizas. Mezclando ciertos carbones con diferente composición de ceniza puede resultar en condiciones de fusión de la ceniza en la caldera que son imposibles de controlar. Las características de la ceniza en algunos carbones puede ser compatibles únicamente con precipitadores del lado caliente y otros tipos de ceniza con precipitadores del lado frío.
- d). - Contenido de ceniza. El carbón de un depósito puede tener un bajo contenido de ceniza y el otro depósito puede tener un alto contenido de ceniza que afecta materialmente el tamaño de los sistemas de manejo de la ceniza.

e). - Suministro futuro del carbón. Los suministros potenciales -- pueden alejarse materialmente de los suministros supuestos. - Puede ser necesario considerar provisiones para futuros cambios que acepten un triturado más duro, un contenido más alto de ceniza o combustibles con una menor capacidad de calor.

Una planta generadora de vapor que usa carbón como combustible, - tiene varias diferencias aparentes de inmediato de una estación que utiliza aceite o gas. Probablemente la más obvia es que existe un área muy grande dedicada al almacenado de carbón. Además, hay muchas bandas transportadoras con sus estructuras de acero asociadas en el sitio de la planta. La - planta que utiliza carbón también puede incluir rieles de ferrocarril, sistemas relacionados para el suministro y descarga del carbón de los trenes que tienen 100 o más carros. Normalmente se instalan purificadores del - gas de chimenea y precipitadores en las plantas que queman carbón los cuales también serán obvios. Además, las chimeneas serán más altas.

Otra de las diferencias importantes, será que el sistema de eliminación de la ceniza y su área asociada de eliminación de la misma, tendrá capacidad para recibir toda la ceniza producida por la planta durante su vida útil. La ceniza puede acarreararse por medio de camiones o lavarse con - agua y transportarse por medio de tuberías.

En este tema se tratarán algunas de las principales consideraciones de diseño en la composición de los sistemas de manejo del carbón. Subrayaremos las funciones básicas requeridas de los varios componentes en los - sistemas y la necesidad de estos requisitos.

En fecha futura probablemente usted preparará una especificación -

de tipo funcionamiento para estos sistemas y los proveedores se encargarán del diseño detallado. Sin embargo, el ingeniero debe proporcionar a los proveedores suficientes planos, dibujos u otros datos para definir el área en la que deben trabajar, los parámetros y criterios para los sistemas y el fun--cionamiento que se exigirá de la instalación completa.

### 3.8. CONSIDERACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO.

Es práctica usual hacer que los proveedores de equipo de manejo - de carbón diseñen y proporcionen un sistema completo incluyendo los controles necesarios y, por lo tanto, parecería que el ingeniero no necesita entrar en los detalles de diseño. Sin embargo, ésto está muy lejos de ser cierto . Las especificaciones y especialmente los planos y dibujos que irán con ellas, son extremadamente importantes y una parte vital del trabajo de di--seño de los ingenieros.

Los sistemas de manejo de carbón consisten de numerosas bandas - transportadoras y equipo asociado que debe coordinarse con el diseño de - toda la planta.

Es necesario que los ingenieros desarrollen distribuciones prelimi--nares incluyendo elevaciones de diferentes piezas del equipo. Como ejem--plo, las bandas transportadoras no pueden elevar el carbón más de 27 pies (8.23 metros) por cada 100 pies (30.48 metros) de distancia horizontal. Esto es completamente diferente de preparar diagramas de flujo para una planta que quema aceite.

Las plantas que queman carbón tendrán un sistema pequeño de acei--te o gas para proporcionar una fuente de ignición que encienda el carbón en-

la caldera.

### 3.9. REQUISITOS DE AREA.

El sistema de carbón en una planta típica requerirá más área de terreno que el resto de la planta combinado. Esto es, el área para el almacenado de carbón, y las vías para un ferrocarril ocupa mayor espacio que para el grupo de fuerza y la subestación.

La disponibilidad de un área de eliminación de la ceniza adecuada, es un artículo crítico en la selección de una ubicación de una planta que quemame carbón. La ceniza algunas veces se regresa por camión al área trabajada de la mina si la planta está ubicada en la boca de la mina. De otra manera, casi siempre se elimina en un terreno adyacente a la planta.

Es extremadamente importante que este sistema y sus requisitos se reconozcan en fecha temprana cuando se están evaluando las ubicaciones de la planta.

### 3.10. ESTUDIO PRELIMINAR.

Un estudio preliminar lo proporcionará una aproximación de las áreas requeridas para el área de almacenado del carbón en la ubicación de la planta. Si el carbón se va a suministrar por carro de ferrocarril, en tal caso se debe construir un ramal hacia la planta y un bucle de vía en la ubicación de la planta. Algunas veces las curvas de nivel de la ubicación de la planta y la dirección por la cual entran las vías a la ubicación de la planta, tendrán una influencia en la orientación del grupo de fuerza en el lugar de la planta.

En general, el patio de carbón estará ubicado detrás o al lado de las calderas en forma tal que los transportadores de carbón no pasen por encima o a través de las áreas del turbogenerador o de la subestación.

### 3.11 CRITERIOS.

La tarea primaria de ingeniería al principio del programa es establecer los criterios para los sistemas de carbón y ceniza. Haciendo esto al principio se eliminarán muchos problemas conforme progresa el diseño.

Los criterios deben incluir puntos tales como un análisis completo del carbón y la ceniza, las cantidades de carbón que se requieren en una base diaria y anual, el tamaño de las partículas de carbón que se van a suministrar, el programa de suministro del carbón, si es por camiones o carros del ferrocarril y los requisitos para pesar y muestrear el carbón suministrado. Esto también debe incluir el programa de operación de la planta y si el manejo del carbón y la ceniza se harán con base en uno, dos o tres turnos. - Esto es importante establecerlo, para tener detalles del carbón que debe almacenarse en el sitio y si la ceniza se eliminará utilizando un sistema seco o húmedo.

El trabajo de diseño en los sistemas de carbón y ceniza no puede proceder efectivamente sin saber cuantas calderas están incluidas en el diseño inicial y final de la estación. También es necesario averiguar la orientación de las calderas de la estación con sus pulverizadores que pueden estar al --- frente o a los lados de la caldera.

### 3.12. COORDINACION CON LOS PLANOS DE TRAZADO.

Todas las consideraciones de diseño en los sistemas de carbón y ceniza deben cuidadosamente coordinarse con los cambios de desarrollo en el plan de trazado. Los sistemas de transportador de carbón tienen limitaciones muy estrictas y no se pueden cambiar tan fácilmente como los sistemas de tubería. Anteriormente declaramos que las bandas transportadoras solo pueden elevar el carbón unos 27 pies (8.23 metros) en un tramo horizontal de 100 pies (3.48 metros) de largo. Por ejemplo, si usted tiene que elevar el carbón 80 pies (24.38 metros) en el aire, debe usted considerar un espacio para un sistema de banda transportadora y sus estructuras, que tenga 300 pies (91.44 metros) de largo.

### 3.13. ESTUDIO DEL COMBUSTIBLE.

Con mucha frecuencia, el combustible usado lo determinarán las condiciones locales. Se debe hacer un estudio sistemático del combustible en la etapa de planeación, cubriendo análisis del combustible, disponibilidad, costo inicial y su transporte, siendo todos estos factores los que influyen en la decisión final.

El carbón, el gas, el aceite y el combustible de subproductos pueden ser todos considerados y seleccionados como lo dicta la economía de la ingeniería. El equipo para el almacenado, manejo y quemado de estos combustibles se debe evaluar e incluir sus costos en el análisis final.

Para el aceite, el costo de los tanques de almacenado, calentadores de almacenado y de circulación, filtros y medios de atomización -vapor, aire

comprimido o medios mecánicos - todos ellos se deben considerar.

Para el gas, se debe proporcionar equipo de reserva cuando el suministro está interrumpido, que es muy natural para los suministros de gas natural durante el invierno. Este equipo de reserva puede ser en forma de almacenado de gas LP y equipo de combustión o puede ser combustóleo.

Para el carbón, elegir el método de quemado más adecuado. Aquí la calidad del carbón juega un papel importante. La volatilidad del carbón, contenido de ceniza y temperatura de fusión de la ceniza son todos importantes.

### 3.14. SELECCION DEL COMBUSTIBLE.

Para una generación confiable y económica de vapor durante la vida útil de una planta, el equipo debe ser adecuado para quemar el combustible o combustibles disponibles en el lugar en particular y a un costo razonable.

El costo del combustible suministrado está cambiando constantemente debido a las fluctuaciones en los precios y en los fletes, variaciones de temporada en la disponibilidad del gas natural y escases temporales de carbón y combustóleo.

El depender de un solo combustible posible para algunos usuarios - con fuentes locales abundantes y confiables.

Muchas compañías de servicio encuentran ventajoso plantear el uso de más de un combustible debido a las fluctuaciones en el costo o para asegurar la continuidad en la operación, en caso de que el suministro normal-

se interrumpiera.

Debido a que el costo de los combustibles consumidos durante la vida útil de una planta generadora de vapor es una parte importante del costo de generación, un incremento ligero en la eficacia de la planta puede fácilmente representar ahorros que representan muchas veces la inversión requerida para obtener esta eficiencia incrementada. Así pues, el diseñador de la planta debe analizar el tipo de combustible o combustibles que espera quemar, junto con los costos presentes y futuros anticipados de los combustibles y proporcionar esta información a los fabricantes de la caldera. Esta información permitirá al diseñador de la caldera incorporar características que cumplan mejor con las necesidades a largo plazo del usuario.

Los combustibles usuales quemados en estaciones generadoras de vapor son el carbón bituminoso, lignito, gas natural y aceite. De éstos, el carbón bituminoso es el combustible más prevalente.

### 3.15. MIXTOS DE HULLA COMO COMBUSTIBLE.

Los mixtos de hulla, que se producen en los lavaderos de hulla, tienen en general un gran contenido de cenizas muy próximo al 40%, una gran cantidad de humedad, muchas veces superior al 20% y son en general, de tamaños menudos y finos.

Para quemar estos mixtos, es preciso secarlos, molerlos a tamaños muy finos, almacenarlos y llevarlos a la instalación de combustión, compuesta de quemadores y cámaras de combustión.

El carbón pulverizado no es muy adecuado para quemarlo en proce--

tos metalúrgicos, debido a las dificultades que las cenizas originan en los mismos, siendo el sitio adecuado para su utilización las centrales térmicas, donde puede conseguirse resultados de gran interés y con un buen rendimiento. El carbón pulverizado es una forma de utilización de combustible.

### 3.16. PODER CALORIFICO.

La propiedad más importante de un combustible es la cantidad de calor que puede obtenerse de su combustión. Se logra de los calores provenientes de la oxidación de la sustancia que componen el combustible. El calor obtenido al ser medido bajo ciertas condiciones, se denomina "poder calorífico" del combustible. La cantidad unidad de calor empleado en cálculos es la British Thermal Unit o Btu que equivale a la cantidad de calor necesaria para llevar la temperatura de una libra de agua a los  $60^{\circ}\text{C}$  ( $61^{\circ}\text{F}$ ).

En trabajos científicos y en algunos de Ingeniería se usa la caloría, que es la cantidad de calor necesaria para elevar un gramo de agua de  $15$  a  $16^{\circ}\text{C}$ . Debido a la pequeña cantidad de calor que representa la caloría, se usa frecuentemente la kilocaloría, que equivale a 1000 calorías.

El poder calorífico se determina haciendo arder una cantidad de combustible cuidadosamente medida, bajo condiciones establecidas, absorbiendo el calor producido en un peso de agua conocido y midiendo la elevación de la temperatura de la misma. El instrumento con que se mide se llama calorímetro.

En el caso de combustibles sólidos y líquidos, éste se determina que

mando un gramo de combustible elegido, en un recipiente cerrado o bomba y midiendo la elevación de la temperatura en el agua donde se ha sumergido el recipiente.

### 3.17. CARBON.

Existe una amplia variación en las propiedades del carbón y la ceniza del carbón. El diseño de una planta generadora de vapor debe ser adecuado para un funcionamiento óptimo en el quemado de los carbones particulares disponibles, dando la debida consideración de una desviación razonable en el caso que los carbones de diseño no se puedan obtener. Los carbones con altas temperaturas de fusión son inherentemente adecuadas para quemarse, cuando se pulverizan, en hornos de fondo de tolva de remoción de ceniza seca.

Los carbones de fusión de baja ceniza, en forma triturada, se queman económica y efectivamente en el horno ciclón con remoción de la ceniza por grifo de escoria. En cualquier ejemplo en particular, la selección final del método de quemado y el tipo de caldera se basan en una combinación de factores técnicos, económicos y juicios de Ingeniería.

Si el carbón va a ser el combustible para una instalación en proyecto, se debe preparar una tabulación que indique el análisis de todos los carbones económicamente disponibles. Además, el diseñador de la planta debe proporcionar en sus especificaciones el análisis de la ceniza de cada carbón. La composición de la ceniza tiene un efecto marcado en sus características de producción de escoria y construcción y debe conocerse para un di-

seño correcto del horno y de las superficies de calentamiento.

### 3.18. CARBON PULVERIZADO.

Una mezcla de aire con carbón finamente molido, al ser soplada en un horno, arde con una llama similar a la del gas. La combustión del carbón pulverizado es lenta, pero debe darse más tiempo y espacio en la cámara de combustión para que se complete el proceso. Casi cualquier tipo de carbón puede ser quemado después de ser pulverizado y hay instalaciones que han operado exitosamente con lignito, carbón bituminoso, antracita y aún coque. Las mayores cantidades de carbón quemado industrialmente, para utilidad pública o en plantas de elaboración, son en forma pulverizada. El carbón en polvo es generalmente quemado en grandes instalaciones como calderas.

### 3.19. QUEMADO DE CARBON PULVERIZADO.

No parece haber actualmente ningún límite reconocible superior para el tamaño de calderas que queman carbón pulverizado. El equipo se puede diseñar para quemar prácticamente cualquier carbón bituminoso o lignito. La antracita se puede quemar con éxito en forma pulverizada, pero en la preparación del combustible y los acomodos del horno y el quemador, requieren de atención especial y gastos adicionales.

Es económicamente adecuado para una amplia gama de capacidad de calderas.

Debe tener el equipo correcto para la preparación del carbón, incluyendo aquel requerido para la remoción de humedad, y manejo correcto del

carbón pulverizado (se prefiere el quemado directo y el secado dentro del-pulverizador).

Requiere aire caliente para la combustión y para la remoción de humedad (se requiere de un calentador de aire).

Se proporciona una amplia flexibilidad en la operación y una amplia eficiencia térmica.

Se requiere los medios adecuados para manejar los desechos de ceniza, (con remoción de grafito, de escoria o ceniza seca).

Esto incluye medios para la remoción en particular de los gases de combustión.

El aceite y el gas como combustibles secundarios se manejan muy -satisfactoriamente en este sistema.

### 3.20. COMBUSTION DEL CARBON.

Generalmente se usa combustible pulverizado para los generadores de vapor alimentados con carbón en las plantas termoeléctricas. Otro método de combustión de carbón se logra en lo que se denomina hogar ciclón. Normalmente, los hogares ciclón se usan para quemar carbón lignito de calidad inferior y se limitan a este tipo de servicio. Existen actualmente en operación numerosos hogares ciclón; sin embargo, para los fines de esta -planta, solo se mencionarán los tipos de pulverizadores existentes.

El proveedor de la caldera y la compañía, seleccionan generalmente el equipo más adecuado para las condiciones de operación previstas y para la clase de carbón que vaya a quemarse. Esto requiere un estudio cuidadoso de la composición y características del combustible y de las condicioo

nes dictadas por el sitio de la planta.

El carbón procedente de un silo de almacenamiento de carbón se dosifica y entrega al pulverizador. El carbón es pulverizado por la acción -- mecánica y a continuación, arrastrado neumáticamente del sistema de --- aire primario a través de los tubos de entrega de carbón a los diferentes quemadores. Generalmente, un pulverizador alimenta 4 quemadores. El - quemador mezcla el aire primario cargado de carbón con el aire secunda- rio para obtener la mezcla de combustión deseada. La ignición se logra - mediante una boquilla de encendido independiente de aceite o de gas en ca- da quemador.

#### IV. SISTEMAS DE MANEJO DE CARBON.

##### 4.1 GENERALIDADES.

La importancia del equipo de manejo de carbón en relación a los diseños de todas las plantas está claramente visto en las más recientes plantas. No obstante, los Ingenieros consideran este problema como secundario, pero a través de los años han aprendido que la máxima eficiencia y el mínimo costo son archivados solo por planeaciones de sistemas de manejo de carbón y sus más minuciosos estudios. En efecto, siempre, no puede ser seleccionado el sitio para una planta grande mientras los detalles del sistema de manejo de carbón no han sido determinados.

Mucho se ha escrito sobre este objetivo y se le ha dado un papel muy importante a la selección de varios tipos de equipo por problemas específicos. Este tema no asume una evaluación del funcionamiento del equipo. Además, se revisarán algunos de los mayores problemas del diseño de plantas de fuerza de hoy en día; además, se mencionan recientes y efectivas soluciones a estos problemas, y finalmente, se mencionan una serie de métodos de operación.

##### 4.2 MANEJO DE CARBON.

El sistema de manejo de carbón debe empezar desde la mina y considerar todos y cada uno de los movimientos y problemas de manejo hasta que el carbón es alimentado a los pulverizadores.

Por cuestiones que interesan a las compañías, éstas consideran que

el sistema de manejo de carbón empieza con la entrega del carbón en el lugar de la planta.

La entrega de las cantidades requeridas generalmente será por --- transporte marino o por unidad de tren ferroviaria. En el caso de que la - planta se encuentre en la boca de la mina o relativamente cerca, el sumi- nistro puede ser por medio de banda transportadora o por camiones.

El sistema de manejo de carbón proporcionará métodos rápidos, y confiables para descargar los trenes, barcos o camiones y entregar el carbón en un almacenado activo o inactivo. Los transportadores de banda proporcionan método de transporte confiable y de bajo costo dentro del siste- ma de manejo de carbón. El equipo móvil tal como excavadoras, tracto- - res o camiones con neumáticos de hule u orugas también se pueden usar - cuando así sea apropiado.

#### 4.3 EXPLOTACION DEL CARBON.

El carbón se presenta en forma de capas o "mantos" de relativa--- mente gran extensión, pero de espesor reducido, que presentan una deter- minada inclinación, de acuerdo con la cual varía, en un punto dado, la profundidad de la capa de carbón.

Así, la extensión de la o las capas de carbón, su espesor, y el grado de inclinación, determinan el sistema de minado que se aplica para su explotación.

Las capas poco profundas y de poca inclinación se explotan ventajo samente a "cielo abierto".

El carbón más profundo, por lo común más allá de los 60 metros, se explota mediante minas subterráneas. En este caso la tendencia es recurrir al sistema de "frente larga mecanizada" que permite un mayor aprovechamiento de las reservas de carbón y una mayor productividad.

Se tiene otro sistema de explotación llamado sistema de "bordos".

A continuación se presentan en forma general los procesos de explotación señalados.

#### 4.3.1 TAJO ABIERTO.

El método consiste, fundamentalmente, en descubrir el carbón y en retirar el material estéril que lo cubre, usando básicamente equipo del -- que se utiliza en trabajos de excavación profunda y movimiento de tierras.

Las propiedades físicas de los materiales a retirar, la profundidad del carbón y su pendiente determinan la geometría del tajo.

Los tajos son cortes cuya anchura en el fondo disminuye conforme aumenta la profundidad del manto; la longitud de cada corte depende de -- las características geológicas del terreno, ya que la presencia de fallas -- geológicas, que puede hacer variar de un lugar a otro la inclinación del -- manto, delimita el tramo por explotar en una operación.

El material por remover en cada corte se afloja por medio de explosivos y se deposita en el corte anterior, pero quedan excedentes por -- "abundamiento" del material que tienen que retirarse a mayor distancia -- utilizando camiones grandes.

El carbón que queda en el fondo del tajo al retirar el material que-

lo cubría, se saca por medio de camiones que lo llevan directamente a la planta lavadora.

#### 4.3.2. EXPLOTACION SUBTERRANEA.

Los métodos usados son, según antes se dijo, el de "bordos" y el de "frente larga". Ambos requieren una preparación previa de la zona o bloque por medio de cañones que pueden desarrollarse ya sea en forma manual con picos de mano o con picos neumáticos, o bien con máquinas llamadas "mineros continuos".

El minero continuo consiste en un tambor giratorio, con picos, montado en un extremo de un brazo orientable, que se controla desde el cuerpo de la máquina. Ese tambor arranca el carbón que cae sobre una mesa situada en la parte frontal de la máquina, de donde mediante un sistema de "brazos de cangrejo" es tomado para depositarlo en un sistema de transportadores de banda que lo llevan al exterior de la mina.

#### 4.3.3 METODO DE BORDOS.

Según se explicó antes, la zona por explotar se delimita mediante la apertura de los cañones ya citados con una separación de 60 a 150 metros uno del otro. Posteriormente estos cañones se comunican entre sí abriendo otros pasillos denominados "galerías", perpendiculares a los cañones, separados de 15 a 20 metros uno del otro. A continuación se abren otros pasillos denominados cruceros, que son paralelos a los cañones, y que sirven para comunicar a las galerías. Los cruceros tienen la misma

separación que las galerías, con lo que finalmente se forma una cuadrícula de pilares de carbón que se designan con el nombre de "bordos de carbón".

En esta fase preparatoria se extrae aproximadamente el 30% de carbón recuperable obteniéndose el resto con la extracción de los bordos de la cuadrícula.

#### 4.3.4 FRENTE LARGA.

Del mismo modo que tratándose del método de bordos, el método de frente larga consiste en esencia, en delimitar dentro del manto de carbón, mediante cañones y galerías, pilares rectangulares de carbón de 100 a 200 metros de ancho, con un mínimo de 500 metros de largo, pudiendo ser bastante más si las condiciones del manto lo permiten.

Estos pilares se explotan mediante cortes a lo largo de la cara más alejada del tiro de extracción, haciéndolos avanzar hacia éste.

El corte se hace con una máquina cortadora montada sobre un transportador blindado, máquina que mediante uno o dos tambores con "picos" corta el carbón y lo carga al transportador. Este, a su vez, lleva el carbón al sistema de bandas que lo conducen al exterior. La máquina cortadora corre a lo largo de la frente de trabajo.

La faja correspondiente al transportador y a la máquina está protegido constantemente con un ademe metálico que se hace avanzar conjuntamente con el transportador y con la máquina después de cada corte de carbón, hundiéndose en forma controlada el "techo" o cielo situado inmediata

mente detrás de la taja que queda protegida.

El sistema de ademe está constituido por postes hidráulicos individuales que colocan y recuperan manualmente, o bien, por conjuntos de postes agrupados y montados en bases comunes de acero tanto en la parte inferior como en la parte superior, que se hacen avanzar conjuntamente por -- medio de cilindros hidráulicos. Este sistema es el conocido como "ademe caminante".

#### 4.4 LIMPIEZA DEL CARBÓN.

El carbón se limpia para reducir la concentración de materia mineral y azufre que pueda contener, así como para despojarlo de materias extrañas tales como trozos de hierro y madera.

Durante la explotación, se incorporan al carbón partículas de hierro y madera, lo mismo que durante su manipulación. Para evitar dañar-- el equipo, se hace necesaria la limpieza.

La limpieza del carbón comienza en la mina, donde los mineros - tratan de extraer los agregados de pizarra del carbón. En algunas minas, el carbón es cortado de manera que se ubican finas capas en la parte superior e inferior de la veta, precaución que reduce la proporción de roca sacada con el carbón. En caso de realizarse mecánicamente la explotación, la limpieza de la superficie de la veta de carbón no es posible y general--- mente estos carbones contienen más materia mineral que los extraídos manualmente. Al abandonar la mina, el carbón ha sido seleccionado a mano-- para extraer los trozos de roca y hueso, aunque éste método está siendo -

reemplazado por la limpieza mecánica.

Donde se necesita posterior limpieza, el carbón es lavado o limpio por otros métodos. Una planta de limpieza de carbón puede instalarse en la mina o en la planta misma.

No todos los carbones pueden limpiarse y algunos responden a dicha limpieza, más rápidamente que otros. La facilidad de la limpieza de una clase de carbón depende de las formas en que la materia mineral y el azufre se presenten, así como por su distribución, friabilidad del carbón y los pesos específicos del carbón y desechos.

#### 4.5 FORMA FISICA Y DISTRIBUCION DE LAS IMPUREZAS.

Las impurezas en el carbón pueden ser clasificadas como el material finamente dividido que constituye una parte de la sustancia del carbón que está inseparablemente unida a ella y de las partículas separables del carbón por medios mecánicos. Las impurezas son separadas en masas individuales, como por ejemplo los esquistos, arcilla, pizarra, yeso y otros compuestos minerales.

Se producen en capas depositadas en la veta de carbón; como infiltraciones en grietas del carbón; después de su formación y como impurezas extrañas del techo o del piso, introducidas durante la explotación de la mina. Como el tamaño de las partículas separables disminuye desde aquellas claramente perceptibles hasta pequeñísimas partículas distribuidas en todo el carbón, la eficiencia de la limpieza es afectada por el tamaño del carbón lavado.

La materia mineral o el azufre combinados estructuralmente con el carbón no pueden ser separados mediante limpieza. Las proporciones de la materia mineral combinada y el azufre representan consecuentemente, límites bajo los que es imposible reducir el contenido de azufre y cenizas. Estos límites son designados por varios nombres como carbón fijo, ceniza o azufre fijo respectivamente. Aunque el total de ceniza de un yacimiento puede variar, generalmente es constante. Por la difícil diferenciación entre las impurezas finamente divididas, las segregadas y las combinadas estructuralmente, que depende de la fineza del carbón, en la práctica el contenido de ceniza fija tiende a variar. En el laboratorio, existen más posibilidades de separarlas por repetidas moliendas y por métodos de hundimiento y flotación. En el diseño de una planta de limpieza de carbón, el objetivo no es sacar una proporción fija de ceniza sino aproximarse a un valor fijo de la misma.

#### 4.6 PESO ESPECIFICO DEL CARBON.

Son las porciones que hacen que la densidad del carbón vaya desde las formas más livianas de carbón brillante hasta las más pesadas de pizarra y piritita. La densidad de un carbón es referida a la densidad del agua, que se toma como 1.0

El valor de la densidad sobre esta base se llama peso específico. El peso específico de las partículas depende de la clase de carbón y del contenido de humedad y materia volátil.



|                           |             |
|---------------------------|-------------|
| Carbón bituminoso puro    | 1.28 - 1.37 |
| Carbón de hueso           | 1.40 - 1.60 |
| Pizarra, arcilla y piedra |             |
| Arenisca                  | 2.00 - 2.64 |
| Piritas                   | 2.40 - 2.95 |
| Calcita                   | 2.70        |
| Yeso                      | 2.30        |

El proceso de limpieza permite la separación del carbón y las impurezas si se utilizan las diferencias en pesos específicos. La calidad de limpieza de un carbón se estudia por el proceso de flotación y hundimiento. Un carbón puede ser separado en dos fracciones si se le sumerge en una solución de un peso específico intermedio entre el carbón y su principal impureza. El material más liviano que el líquido flota y el más pesado se hunde. Usando una serie de soluciones de pesos específicos diferentes se puede separar el carbón en varias fracciones. Aunque los tamaños y formas de las partículas del carbón no afectan las proporciones de estas fracciones, son importantes en un proceso de lavado, pues, influyen en el asentamiento y estratificación. La separación por este proceso es, consecuentemente, una separación ideal que puede realizarse solamente en la planta lavadora.

TABLA DE FRACCIONES DE DOS CARBONES EN EL PROCESO DE  
FLOTACION Y HUNDIMIENTO.

| Peso específico | Carbón fácil lavado | Carbón difícil lavado |
|-----------------|---------------------|-----------------------|
| 1.80 y mayor    | 8.0 %               | 8.0 %                 |
| 1.60 - 1.80     | 1.5 %               | 18.5 %                |
| 1.50 - 1.60     | 1.0 %               | 16.0 %                |
| 1.40 - 1.50     | 3.0 %               | 22.0 %                |
| 1.30 - 1.40     | 26.5 %              | 23.5 %                |
| menor de 1.30   | 60.0 %              | 12.0 %                |

Las fracciones de peso específico inferior a 1.40 son buenos carbones, con un mínimo de ceniza. Las fracciones de 1.40 a 1.60 son medianas y pueden obtener de 25 % a 30 % de ceniza. El material que está dentro de estos límites no es afectado por los procesos comunes de lavado. Las fracciones superiores a 1.60 poseen alto contenido de ceniza y son consideradas desechos. El carbón ideal no debe tener fracciones entre los primeros y los últimos.

Estos procesos de flotación y hundimiento se efectúan con carbones nuevos para determinar si son lavables mientras se determina también la eficiencia del sistema de lavado.

#### 4.7 TIPOS DE PROCESOS DE LAVADO.

- A. Separación por gravedad.
  - 1. Procesos por vía húmeda.
    - a) Piletas lavadoras.
    - b) Vibración y lavado.
    - c) Clasificadores elevadores de corriente.
    - d) Mesas.
  - B. Métodos de hundimiento y flotación.
    - 1. Sólidos finos y flotación en agua.
      - a) Arena.
      - b) Magnetita y otros materiales.
- C. Flotación en espuma.

##### 4.7.1 PILETAS LAVADORAS.

Este sistema, es uno de los servicios usados más viejos para el lavado de los carbones.

Consiste en hacer pasar un flujo de agua por debajo del carbón ocurriendo una sedimentación debido al peso específico de las partículas.

Las partículas más pesadas se asientan más rápidamente en el fondo.

La eficiencia de separación está acentuada porque el cuerpo principal de la corriente está fluyendo rápidamente, mientras las capas del mi-

neral están retardadas por la fricción con el fondo y se mueven más lentamente. Consecuentemente, las porciones elevadas del carbón acumulado, con un relativo movimiento lento, son acarreadas rápidamente por el flujo del agua.

La velocidad de movimiento de las partículas está influenciada por el tamaño y forma de las mismas.

El sistema se compone de una serie de piletas con sistema de recirculación, para una mejor eficiencia en el lavado.

Al final, el carbón pasará por un sistema de secado y posteriormente a las pilas de almacenamiento.

#### 4.7.2 VIBRACION.

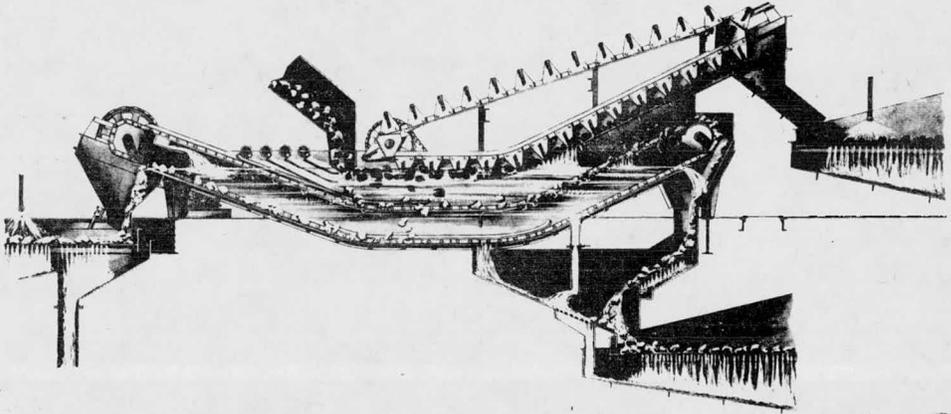
En este sistema, el carbón está en constante movimiento debido a alternadas pulsaciones del agua suministrada. La velocidad de vibraciones es el factor más importante en el control de la separación.

Las partículas menos densas pasan a otro sistema de las mismas características hasta obtenerse un carbón lavado con bajo contenido de cenizas.

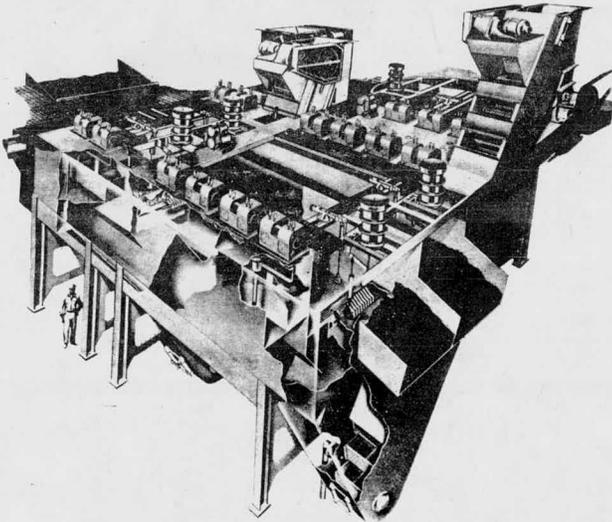
Después del secado, pasará a la pila de almacenado.

#### 4.7.3 CLASIFICADORES.

En este sistema, el carbón es separado por regulaciones de velocidad de una corriente ascendente de agua, en la cual el carbón está suspendido.



LIMPIEZA DEL CARBON CON SEPARACION POR DENSIDAD MEDIA



PLANTA LAVADORA DE CARBON

#### 4.7.4 PROCESOS DE FLOTACION Y HUNDIMIENTO.

En un proceso de flotación y hundimiento, el carbón al ser lavado es suspendido en un medio de peso específico intermedio entre el carbón y el de la ceniza.

El carbón limpio permanece en la parte superior del baño y luego es separado, mientras la ceniza se asienta en el fondo.

Pocos líquidos de tal peso específico son prácticos para el uso comercial, pero las propiedades de un líquido pesado han sido aproximadas por medio de arena u otro material suspendido en agua o aire.

#### 4.8 SUMINISTRO DE CARBON.

Es práctica usual que la compañía minera proporcione el carbón triturado en un tamaño especificado. Un tamaño común es de 2 pulgadas (2" x 0). Esto significa que aproximadamente el 95 % pasará a través de un agujero de 2 pulgadas de diámetro.

Esta dimensión se supone que es tal que el carbón se puede manejar en los pulverizadores de la caldera sin necesidad de una mayor trituración en el lugar de la planta. Sin embargo, actualmente muchas plantas encuentran necesario proporcionar trituradores en la planta para uso intermitente. Unas plantas reciben su carbón en tamaños de 6 pulgadas y después lo trituran antes de moverlo hacia el área de la caldera.

Para cualquiera de los casos, que la mina surta el carbón o la planta necesite quebrarlo, se cuenta con el triturador Bradford. Su funcionamiento está basado en el principio de friabilidad del carbón (facilidad de-

desmenuzarse, aún con la presión de los dedos).

Consta de un tambor cilíndrico hueco, compuesto por placas gruesas de aleaciones de acero, perforadas con agujeros del tamaño similar al de 1 pulgada a 1 3/4 pulgadas de diámetro. El triturador gira alrededor de su eje longitudinal, colocado en posición horizontal; el carbón es admitido por un extremo del cilindro y cuando gira el triturador, es llevado hacia la parte superior por unas placas colocadas en el interior y al costado del cilindro. Al acercarse a la parte superior, el carbón cae. Las distintas caídas trituran los trozos, hasta que pasan a través de las perforaciones, pero los fragmentos extraños de acero y los terrones duros, que son los desechos, son descargados en el extremo opuesto.

Su movimiento se facilita acomodando las placas laterales en un pequeño ángulo con la superficie del triturador o colocando el mismo de manera que el eje no quede horizontal. En este caso, el extremo de la descarga está un poco más bajo que el extremo de carga. Debido a los relativamente ligeros golpes del carbón producidos por las caídas, solo se produce un mínimo de carbón fino o menudo en el triturador Bradford. Estos están construídos en tamaños que van desde 1.80 m. de diámetro por 2.40 m. de largo, hasta 3.60 m. de diámetro por 6 m. de largo. La velocidad de rotación es de 12 a 18 rpm.

Si el carbón está lo suficientemente libre de materias extrañas, un triturador de un solo rodillo puede reemplazar al Bradford. Tal triturador consta de un rodillo dentado y de una placa. El rodillo posee dos tipos de dientes: uno triturador de 7/8 de pulgada de largo aproximado y otro tipo de martillo de 1.5 a 4 pulgadas de largo, dependiendo estas medi

das del tamaño del carbón. El tamaño máximo del carbón obtenido de un triturador es frecuentemente de 1 pulgada a  $1\frac{1}{2}$  pulgadas. Puede ser alterado el tamaño cambiando la distancia entre la placa trituradora y el rodillo. Estos trituradores están contruídos con capacidad de 500 toneladas/hora aproximadamente.

A veces se mezclan con el carbón, porciones de hierro, al ser sacado de la mina o transportado. Si entraran en el triturador, puede causar le grandes averías, por lo que generalmente se les saca del carbón, antes de entrar al triturador, usando un electro-imán colocado sobre la banda -- transportadora que alimenta al triturador o en la descarga del carbón. Este material será depositado en un lugar aparte, generalmente tolvas pequeñas.

#### 4.9 EFECTOS DE LA TRITURACION.

La mayoría de los carbones se rompen más o menos bajo ciertas condiciones y la materia mineral también. En un carbón brillante, los trozos poseen una forma cúbica aún cuando son reducidos a polvo. Las impurezas pueden fracturarse en partículas de cualquier forma, aunque las planas tienden a predominar. Estas se forman por la rotura del material laminar como esquistos. El carbón y las impurezas se fracturan en ciertas ocasiones, en tal cantidad de tamaños y formas que la separación se hace posible mediante el zarandeo. Así, esta condición simplifica el lavado por que los tamaños más pequeños pueden ser zarandeados antes del lavado y volver secos y sin haber sido tratados, a la porción de lavado.

Menos común es la firme adherencia de lodo al carbón, que facili--

ta la fracturación. Esto da por resultado partículas adheridas que están formadas por carbón más lodo. El carbón cuyo componente principal es el atritus se rompe más irregularmente que un carbón brillante y es consecuentemente, de más difícil limpieza.

#### 4.10 TAMIZADO DEL CARBON.

Antes de que el carbón pase a los molinos, es conveniente que las partículas más pequeñas sean separadas por medio de una criba o un tamiz para reducir la carga del molino.

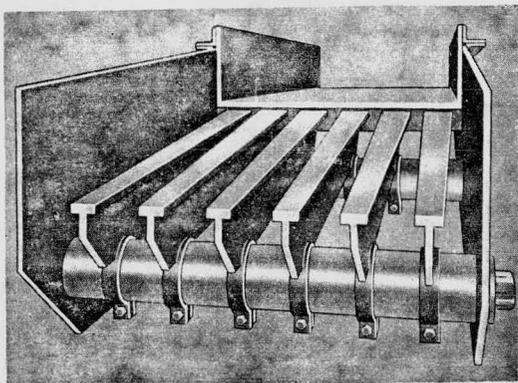
Los tipos de tamizado usados para el carbón son:

##### 4.10.1 CRIBAS CON PALANCA FIJA.

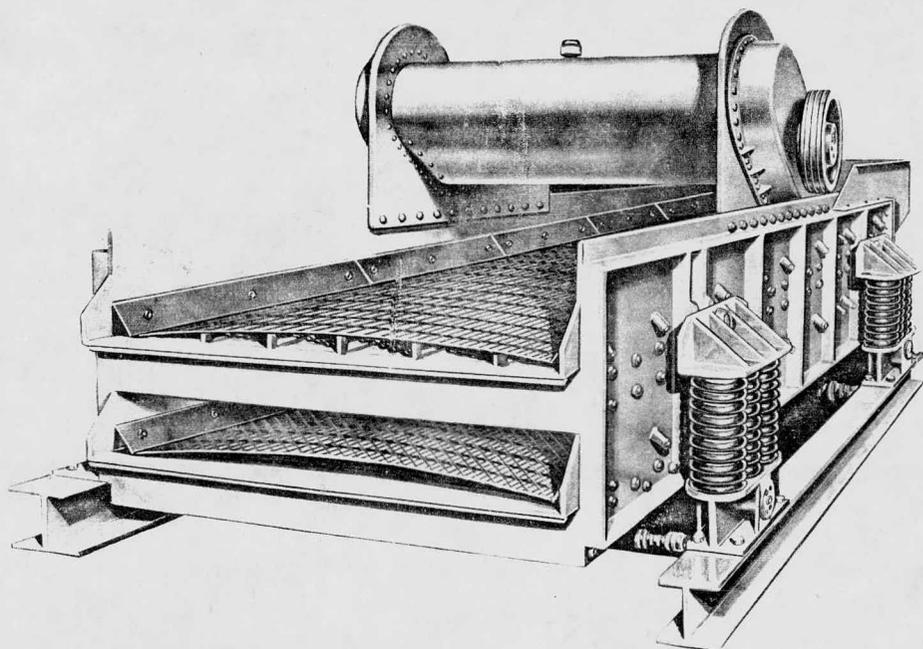
Consiste en una serie de barras paralelas con cierta inclinación -- que hace caer por gravedad a las partículas más finas y que son recogidas en una tolva o que pueden pasar a sistema, según se requiera la operación. Las partículas más grandes van directamente a los molinos. Las barras están acuñadas para evitar que el carbón quede atrapado.

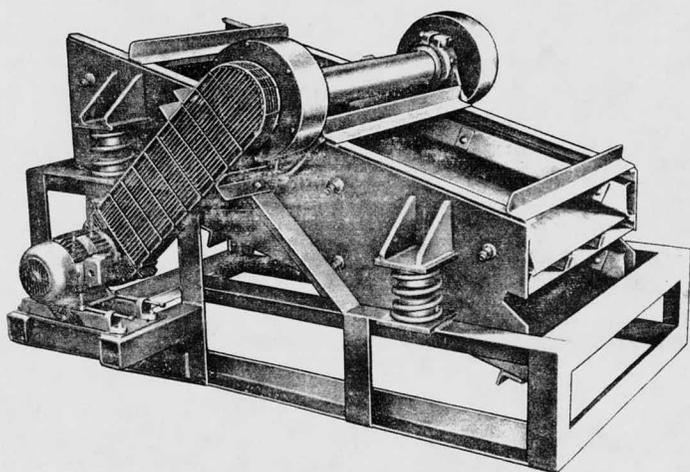
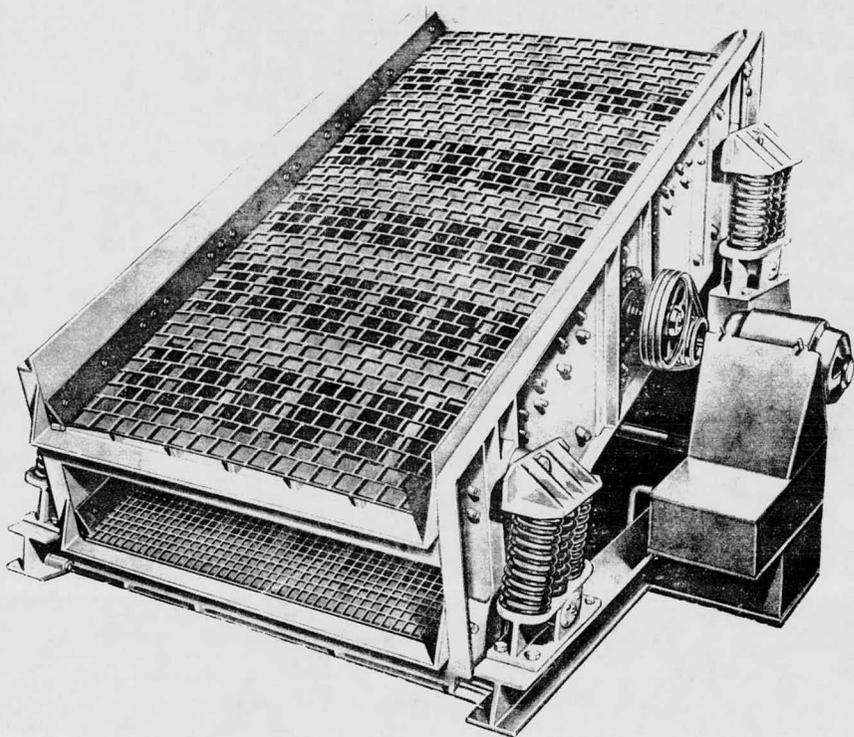
##### 4.10.2 CRIBA GIRATORIA O DE DISCO.

Consiste en una serie de discos giratorios girando en la misma dirección. Se usa generalmente con carbón de 1 pulgada de diámetro o mayor.

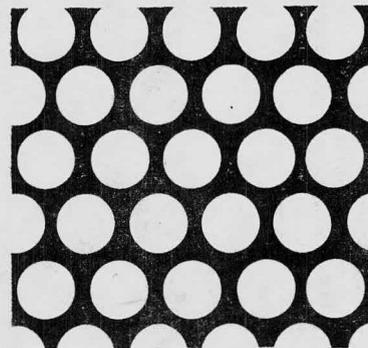
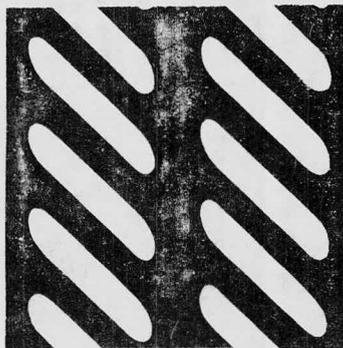
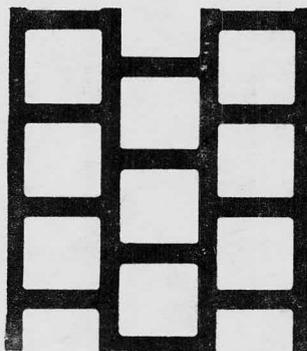
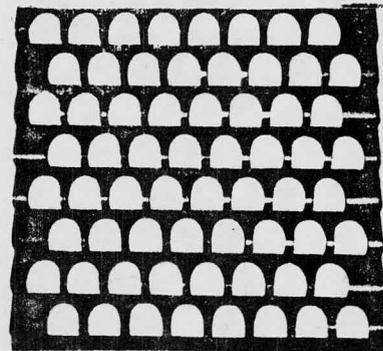
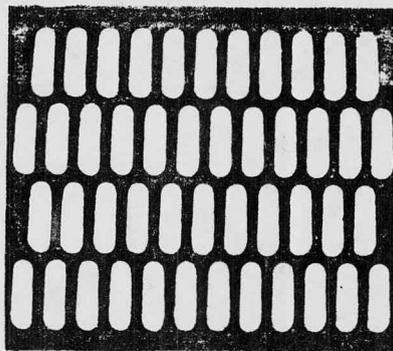
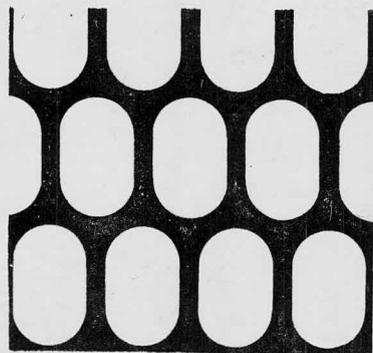


SISTEMAS DE CRIBADO.





SISTEMAS DE CRIBADO.



DIVERSAS PERFORACIONES DE LAS CRIBAS

#### 4.10.3 CRIBA VIBRADORA.

Consiste en una placa inclinada con perforaciones adecuadas a la granulometría deseada y está constantemente sacudida por medio de una polea por un sistema mecánico. Se usa para carbones de 1/2 pulgada de diámetro o mayor.

Hay cribas en las cuales las perforaciones van aumentando desde la alimentación hasta el final.

Hay cribas vibradoras accionadas por un vibrador de alta velocidad. Se usa generalmente para carbones de 3/8 de pulgada o menores.

#### 4.11 ALMACENADO.

Una vista familiar cerca de cualquier planta de energía eléctrica por vapor es la gran pila de almacenado del carbón.

Muchas plantas grandes de servicios públicos mantienen de 60 a 120 días de suministro en almacenado. Además, el carbón almacenado en la cercanía inmediata de las plantas, se pueden almacenar grandes pilas de carbón dentro del área cubierta por la instalación para usarse por cualquiera o todas sus plantas. Esto asegura una operación continua de la planta en caso de que se detengan los embarques diarios de carbón debido a huelga en las minas o en el transporte o suspensiones del transporte debido a condiciones de tiempo adversas. Una vez que se pone el carbón en almacenado, se deja ahí hasta que una emergencia hace necesario su uso. Esto es cierto no solo debido al gasto implicado en moverlo hacia y desde el almacenado, sino que existe una pérdida en el valor térmico debido a los efectos del tiempo

po, causan que parte de la materia volátil sea lavada durante los primeros meses de almacenado, pero después de ésta pérdida inicial, el carbón puede permanecer en almacenado durante un tiempo considerable sin que tenga la mayor pérdida considerable. Los elementos del tiempo causan cierta reducción en el tamaño del carbón, particularmente cerca de la superficie de la pila de almacenado, lo cual resultará en una pérdida si el carbón se va a quemar en un hogar de encendido. La combustión espontánea es otra fuente de pérdida implicada por el almacenado del carbón. Esta pérdida se puede reducir seleccionando un mejor grado de carbón, del tamaño correcto y un apilado debido.

La pérdida del valor térmico del carbón almacenado por encima del suelo durante un período de cinco años, puede ser de 1 % a 3 % para el carbón de la parte oriental de los Estados Unidos; y de 4 % a 6 % para carbón de Illinois.

La edad geológica de un carbón es el mejor indicador de una capacidad para calentar, así pues, el carbón antracítico es el más seguro para almacenarse y el lignito es el más peligroso.

La combustión espontánea es más probable que ocurra en pilas de almacenado que contienen considerable cantidad de partículas finas, y por ello no se debe almacenar el carbón tamizado o tal como sale de la mina.

Existen tres métodos generales para almacenar el carbón: a) en edificios y silos, b) bajo agua y c) en montones por encima del suelo.

Debido al volumen de carbón y la gran cantidad usada en las plantas de fuerza, el almacenado en edificios no es económico.

El almacenado bajo agua, aún cuando es la única garantía posible en contra de la combustión espontánea y el efecto de los elementos del tiempo, es costoso, excepto en plantas ubicadas a un lado de un lago en donde - exista disponible un estanque natural.

En los climas del norte, la recuperación del carbón de una fosa - bajo el agua sería difícil durante los meses de invierno, cuando es más probable la interrupción de los embarques de carbón.

La mayoría del carbón almacenado para usarse en grandes plantas de fuerza, se coloca en montones de diferentes formas y tamaños por encima del suelo.

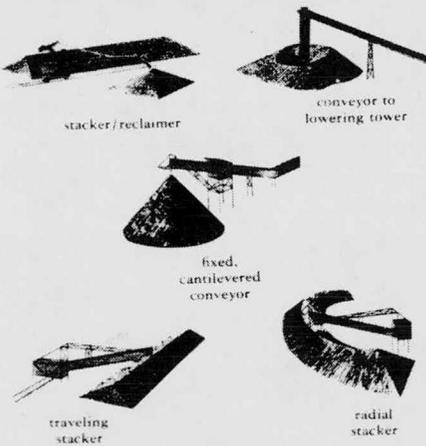
Hay muchos sistemas en uso para colocar el carbón y removerlo - de la pila de almacenamiento encima del suelo. Alguno de los métodos más comunes implica el uso de grúas de locomotora y un apilador que utiliza una serie de transportadores de banda.

#### 4.11.1 ALMACENAMIENTO DE CARBON ACTIVO (VIVO).

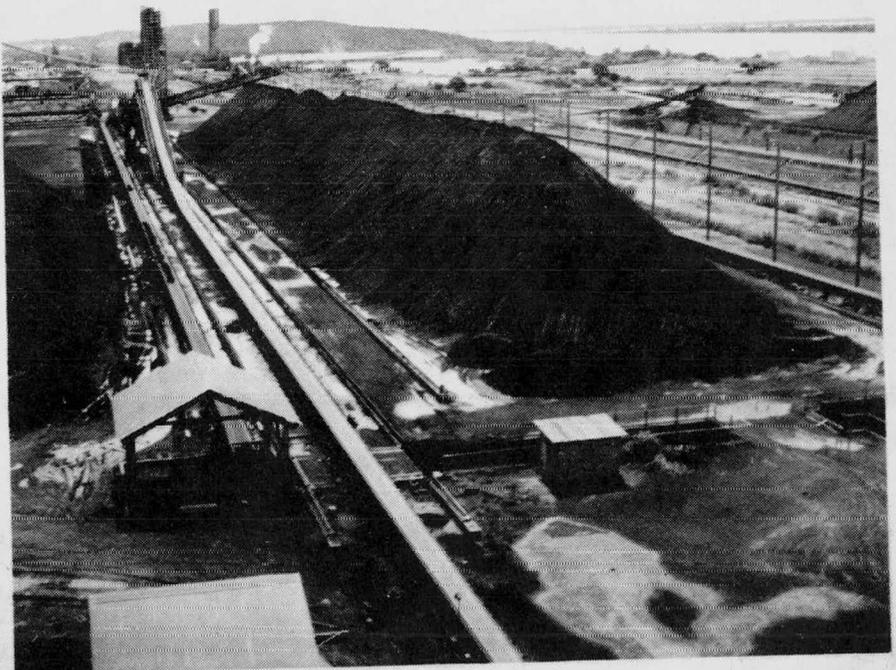
Usualmente, el almacenado activo tendrá un suministro aproximado de 4 a 6 días para las calderas, calculado sobre el 100 % de carga.

Existen varias formas para este tipo de almacenamiento:

- a) Sobre tolvas de recuperación.
- b) Por medio de un transportador de pluma.
- c) Por medio de un apilador.
- d) Por medio de una torre de concreto.



SISTEMAS PARA  
ALMACENAR CARBÓN

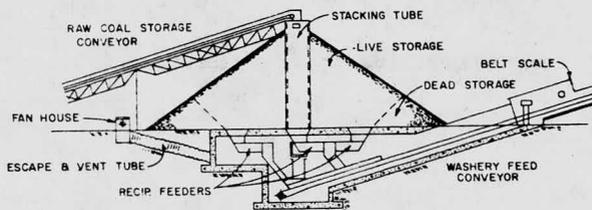


#### 4.11.2 ALMACENAMIENTO DE CARBON MUERTO.

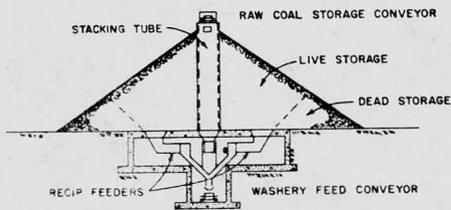
El almacenado muerto que generalmente es llamado la pila de emergencia, deberá tener un tamaño para solucionar interrupciones realistas -- del suministro. Dichas interrupciones pueden ser huelgas laborales, dificultades sobre el transporte de suministro o problemas de la temporada tales como hielo y mal tiempo. El almacenado varía en tamaño entre la cantidad necesaria para suministro de 30 a 90 días. Usualmente se calcula -- con una capacidad de carga del 100 %. Su tamaño es determinado por la -- confianza que tienen los propietarios de la planta en la seguridad del suministro de carbón. Algunas veces depende de la forma de transporte de la mina, pero con frecuencia depende del tiempo esperado en que la mina no operará o estará sujeta a problemas.

Se requiere de bulldozers y palas excavadoras para usarse en estas áreas. El carbón debe extenderse en capas y compactarse para minimizar la circulación del aire y evitar el inicio o extensión de fuegos en la pila. -- Este equipo se usará en casos de emergencia para mover el carbón a la tolva de recuperación.

El almacenaje de carbón representa un gasto especulativo debido al gasto de manipulación hacia y desde el almacén, el interés del valor del -- carbón almacenado y el valor del área de terreno requerido. Otra desventaja es la oxidación del carbón, a menos que se tomen medidas preventivas o se tomen disposiciones para disipar el calor generado en la pila por la -- reacción, y pérdida de poder calorífico.

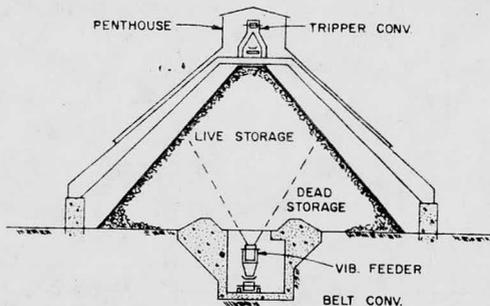


ELEVATION OF CONICAL STOCK PILE

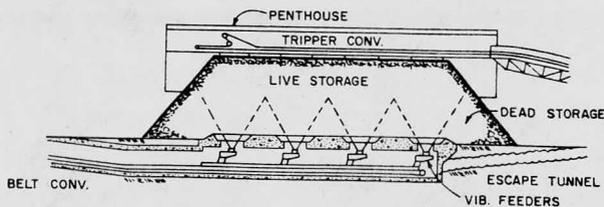


SECTION THRU CONICAL STOCK PILE

DIAGRAMAS DE ALMACENAMIENTO DE CARBON



SECTION THRU COVERED STOCK PILE



ELEVATION OF COVERED STOCK PILE

AÑOS DE ALMACENAJE      PROMEDIO ANUAL DE PERDIDAS

|          |             |               |
|----------|-------------|---------------|
|          | 2.50        | 1.24 %        |
|          | 3.00        | 0.55 %        |
|          | 0.75        | 1.30 %        |
|          | 4.50        | 0.11 %        |
|          | 10.00       | 0.19 %        |
|          | <u>1.25</u> | <u>0.73 %</u> |
| PROMEDIO | 3.67        | 0.69 %        |

El calentamiento espontáneo del carbón depende de diversos factores:

1. - TIPO DE CARBON.

Todos los carbones no se oxidan en la misma proporción. El porcentaje de oxidación es generalmente más alto para los carbones con alto contenido de humedad, propia o de la mina, oxígeno, materias volátiles, - piritas finamente divididas. La oxidación es baja para los carbones de alta calidad.

2. - LA MAGNITUD DE LA SUPERFICIE EXPUESTA.

Los carbones finos y chatos exponen más superficie que los aterronados y por consiguiente puede esperarse que se oxiden más fácilmente. - Los finos, sin embargo, cuando están almacenados solos tienden a formar pilas uniformemente compactas que cierran bien, de manera que puede considerarse como excluido en el centro de la pila. Una pila de carbón com-

pacta contiene un sinnúmero de pasajes por los que puede penetrar fácilmente el aire, pero la superficie expuesta es relativamente pequeña y el calor es rápidamente arrastrado por el aire. El mayor peligro del incendio se verifica en el almacenaje de mezclas finas y compactas de carbón tal como fluye de la mina. En una pila de este tipo hay pasajes para la circulación del aire y al mismo tiempo una gran superficie de carbón. El aire tiende a penetrar en la pila por la parte inferior y fluye hacia arriba con efecto de chimenea, particularmente si se verifica el calentamiento. En igualdad de condiciones, el centro de la pila deberá tener la misma circulación de aire y en el centro de un banco largo debe ser despreciable. (banco largo en este caso significa la forma como está almacenado el carbón).

### 3. - TEMPERATURA DEL CARBON.

La proporción de la oxidación crece rápidamente con el aumento de la temperatura. Los ensayos han mostrado que a temperaturas entre 30 °C y 100 °C la razón de oxidación crece como un factor de oxidación de 2.2 por cada 10 °C de aumento de temperatura.

Si el carbón es almacenado en día caluroso, la masa total estará a la temperatura aumentada y la razón de oxidación será así acelerada. Cuando el carbón está ya almacenado, las temperaturas altas son menos importantes. Debido a que el carbón es negro, la mayoría de los rayos solares que llegan a la superficie son absorbidos, pero por la baja conductividad térmica del carbón, la región de temperatura aumentada queda restringida a la parte exterior. Si el carbón se almacena sobre líneas de va-

pores, aún cuando ellas estén cubiertas o enterradas, las pequeñas cantidades de calor perdidas por conducción se acumulan en el carbón y aceleran la oxidación.

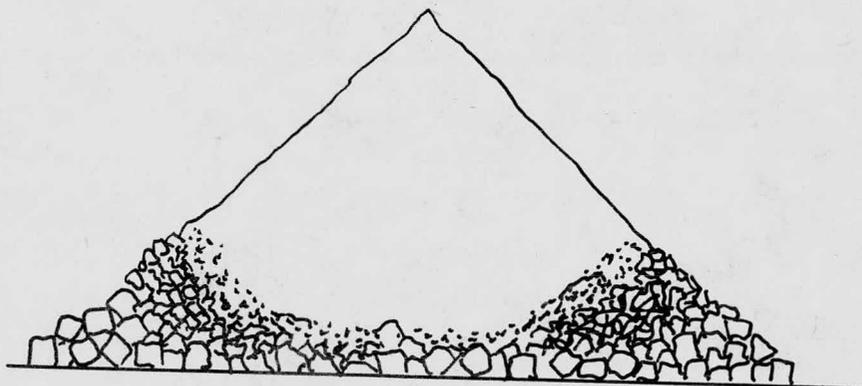
#### 4. - HUMEDAD.

Hay alguna evidencia de que el secado y mojado alternado del carbón aumenta la tendencia hacia la oxidación, pero el efecto del secado no ha sido aún definitivamente determinado.

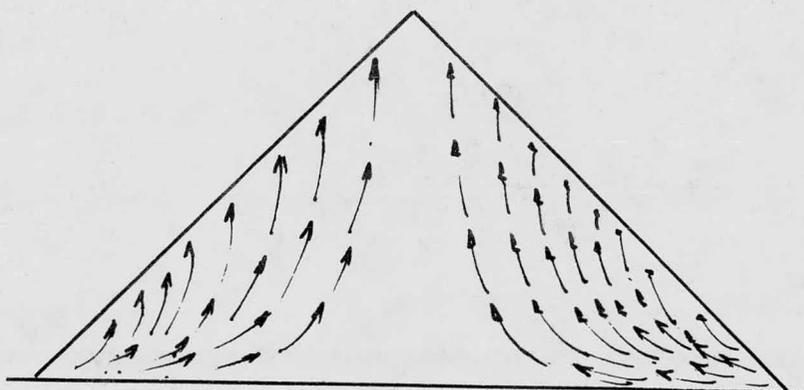
#### 4.11.3 PRECAUCIONES PARA EL ALMACENAMIENTO DEL CARBON.

El almacenamiento bajo agua evita su disgregación por la acción de la intemperie y el peligro de su combustión espontánea y se le ha empleado con buenos resultados. En el almacenamiento al aire libre, se reduce el peligro de la combustión espontánea, y las pérdidas consiguientes, observando las reglas siguientes:

- A. Ningún carbón se apilará en pilas demasiado altas. Ninguna parte de la pila estará 3 m. más arriba de una superficie enfriada en el aire. La pila deberá tomar la forma de banco de arena, no de pirámide o espinazo. El carbón es mejor almacenado en capas, cada una de las cuales tienen variado espesor.
- B. No se apile o amontone el carbón de modo que se posibilite la segregación de los grandes trozos de carbón fino, pues la separación de éste aumenta la probabilidad de que se inicie el fuego.



SEGREGACION DEL CARBON EN UNA PILA CONICA



CIRCULACION DEL AIRE EN UNA PILA DE CARBON

- C. La manipulación del carbón deberá reducirse al mínimo con el objeto de evitar roturas, con la consecuente formación de partículas finas.
- D. Los carbones de diferentes orígenes deberán apilarse separadamente.
- E. El carbón no deberá almacenarse cerca o en contacto con una fuente de calor o cualquier sustancia extraña que pueda generar calor. La superficie deberá ser pareja, firme, bien drenada y libre de obstrucciones que puedan formar un canal por el que penetre el aire en la pila.
- F. Deberá evitarse el almacenaje en días calurosos.
- G. El mojado y secado alternado no son convenientes.
- H. No deberán usarse caños o conductos de aire para ventilar el carbón.
- I. Cuando se almacena carbón, compactar la pila o montón pasando por éste una aplanadora o un tractor. Para el almacenamiento durante mucho tiempo, es de muy buenos resultados el asentamiento del carbón con aceite o alquitrán.
- J. Tomar con regularidad las temperaturas de la pila. Una temperatura superior a 50 °C en cualquier punto constituye una señal de peligro, y deberá separarse el carbón de dicha zona.

K. Evitar el almacenamiento de carbón recién extraído de la mina, pues la mayoría de los carbones, si son propensos a la combustión espontánea, lo son especialmente durante las primeras semanas de su extracción de la mina.

#### 4. 12 MEZCLADO DEL CARBON.

Las pilas de almacenamiento se usan también para la mezcla. Esta se efectúa para imprimir uniformidad al carbón y se usa no solo para mezclar carbones de diferentes clases provenientes de varios orígenes, sino también en el caso del mismo carbón proveniente de una mina o veta.

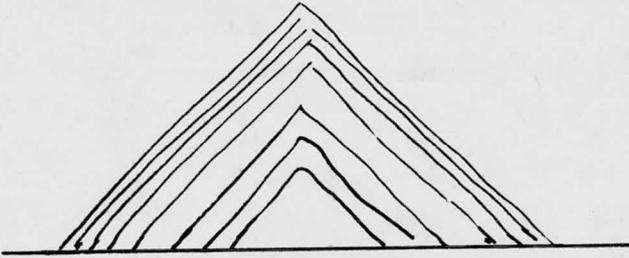
El carbón es almacenado en pilas largas que contienen hasta 40 000 ton. . Cada capa es depositada a todo lo largo de la pila.

Hoy en día, este mezclado de carbón se hace por medio de máquinas aplificadoras.

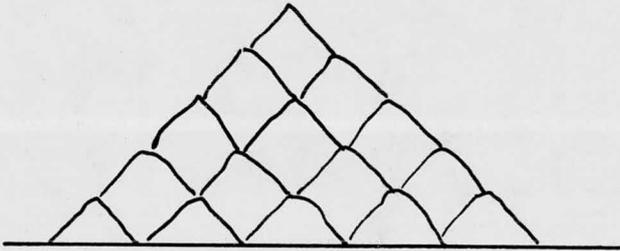
Los sistemas que se pueden emplear para el mezclado, son diversos, entre ellos podemos encontrar el método Chevron que consiste en la formación de pilas por medio de capas tendidas a todo lo largo de la pila completa y el método Windrow, que consiste en la formación de pequeñas pilas a lo largo de toda la pila y una segunda hilera en los espacios intermedios.

Los carbones también son mezclados en los silos. En un sistema, los silos de carbón están constituidos por varias hileras que alimentan a un mismo transportador.

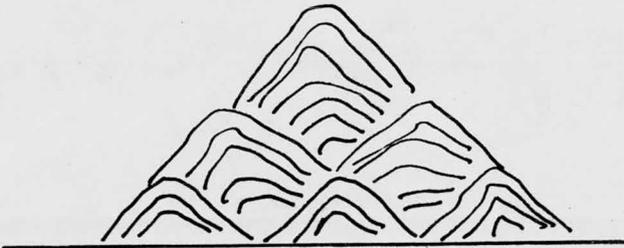
Generalmente, el sistema de mezclado no es necesario en las plan



METODO CHEVRON



METODO WINDROW



COMBINACION CHEVRON-WINDROW

tas termoeléctricas, ya que el carbón se va a quemar. Pero sí interesa el poder calorífico de la mezcla para poder tomar medidas necesarias en caso de contrarrestar alguna deficiencia.

#### 4.13 RECEPCION DEL CARBON.

El carbón que es suministrado por ferrocarril o por camiones, será descargado a una tolva enterrada.

Siempre que el carbón ha sido recibo por ferrocarril, la descarga de los carros con la tolva en el fondo ha sido considerado un trabajo costoso por sucio, tedioso y, en muchos casos, peligroso.

Una de las características más importantes en el diseño de una tolva receptora es la inclinación de sus lados. La experiencia reciente ha mostrado que una inclinación mínima de  $50^{\circ}$  respecto al plano horizontal es la que debe usarse, y que esta inclinación debe incrementarse hasta  $60^{\circ}$  o más cuando se manejan cribas húmedas. Esto es particularmente cierto en las tolvas de recuperación del almacenado en el suelo.

La capacidad de la tolva en este caso debe ser cuando menos de 70 a 80 toneladas para tener capacidad de un carro completo de carbón.

Este enfoque es ventajoso cuando se usan vibradores del carro u otros dispositivos de descarga mecánicos, puesto que permitirán la remoción del carro vacío y la colocación de un carro lleno mientras que el carbón del carro previo está siendo alimentado al sistema.

En plantas más grandes, con frecuencia se usan tolvas de longitud suficiente para recibir dos carros. Una vez más, la capacidad de la o las

tolvas debe ser suficiente para recibir el contenido de ambos carros.

#### 4.13.1 VOLTEO ROTATORIO.

El uso de un volteo de carro de ferrocarril, del tipo rotatorio, en las plantas que reciben carbón por ferrocarril, aumenta constantemente -- sobre todo en las plantas grandes.

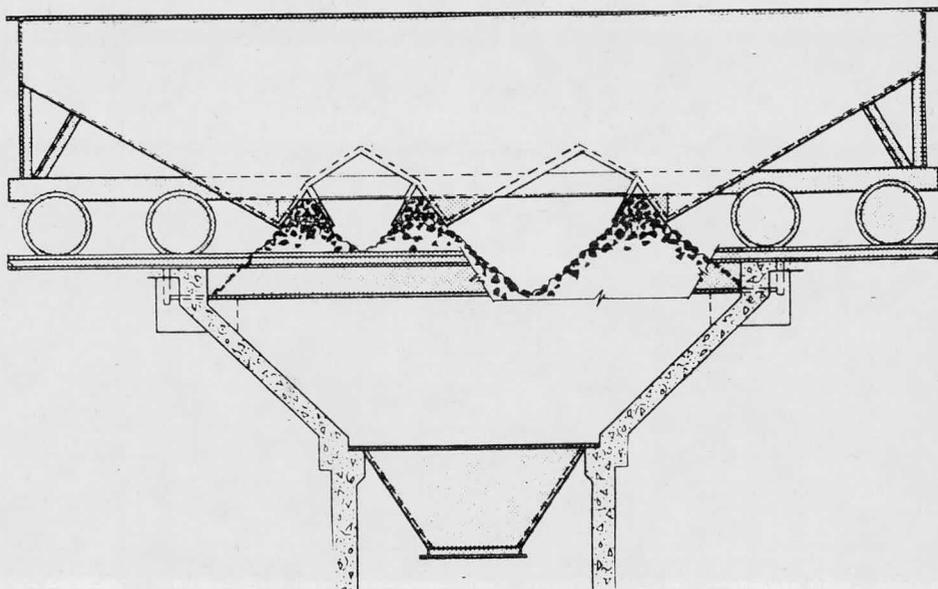
Para los operadores de grandes sistemas de manejo de carbón, es particularmente atractiva la capacidad de volteo rotatorio para descargar cualquier tipo o clase de carbón en góndolas grandes o pequeñas, abiertos y vaciar el carro por el simple hecho de voltearlo.

Un volteo sencillo diseñado para uso en la planta de fuerza, manejará con facilidad de 20 a 30 carros de ferrocarril, de tipo estándar, por hora. Los volteos han sido diseñados para manejar 40 o más carros por hora. Puesto que estos equipos son robustos, rara vez se instala un duplicado como sucede con otras piezas de equipo.

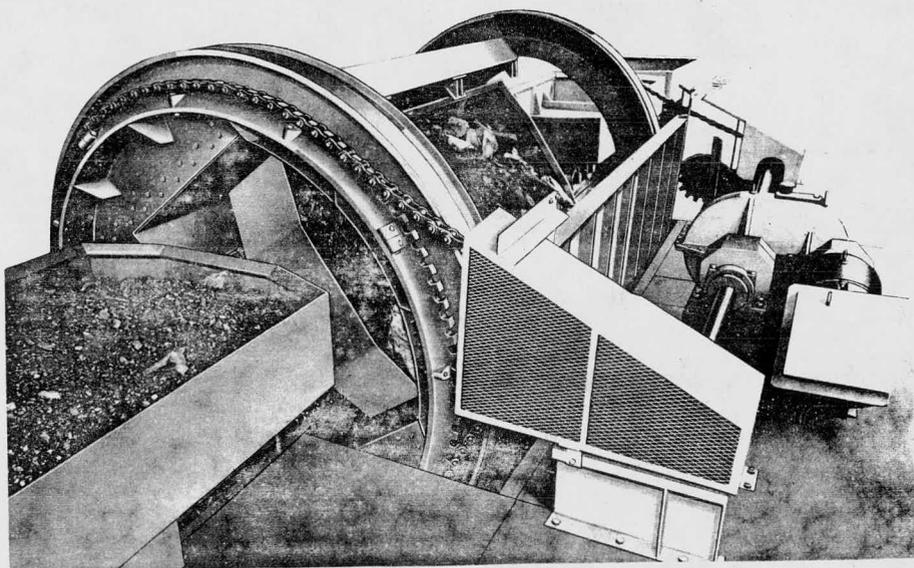
Debido a su alta capacidad y confiabilidad, eliminan de usar cierto número de tolvas de vía grandes con equipo auxiliar. Los volteos hacen posible descargar económicamente y proporcionar trabajo seguro y deseable para la cuadrilla de operación.

#### 4.13.2 DESCARGADOR VIBRATORIO.

Otro tipo de sistema de descarga de vagones góndolas, es por medio de un vibrador, el cual se deposita sobre el vagón en la parte superior y por medio de un sistema magnético es atrapado.



DESCARGA DE VAGONES DE FERROCARRIL POR LA PARTE INFERIOR



DESCARGA DE VAGONES DE FERROCARRIL POR MEDIO DEL VOLTEADOR

Se hace accionar el sistema vibratorio y el vagón es descargado -- por la parte inferior, pasando directamente el carbón sobre una tolva enterrada que alimentará al sistema.

#### 4.13.3 AREAS PARA DESCARGA PROBLEMATICA.

Las tolvas de descarga ya sea ubicadas directamente bajo los ca-- rros que tienen tolva en el fondo, bajo un volteo para carros o para camiones, usualmente tienen una cubierta para evitar la acumulación de carbón y hielo, particularmente en climas fríos. Por otro lado, el carbón en mu-- chos casos es descargado sin la protección de una cubierta cerrada aún - - cuando se use un volteo.

Aunque el uso de los volteos para facilitar la descarga de carbón - congelado es una buena práctica, deben proporcionarse zanjas de deshielo en las áreas más frías y en aquellas regiones con temperaturas prolonga-- das bajo cero. El carbón en los carros con tolva en el fondo, que ha esta-- do en tránsito durante varios días a temperatura bajo cero, se puede con-- gelar sólidamente en el fondo de las tolvas del carro.

Se debe proporcionar suficiente calor bajo el carro para permitir-- la apertura de las compuertas y dejar que el carbón en el fondo de la tolva se derrita o desprenda.

Cuando se esté descargando carbón congelado con un volteo rotato-- rio, se aconseja proporcionar una rejilla pesada en la tolva receptora pa-- ra ayudar a romper los trozos de tamaño mayor de carbón congelado, conforme se descargan del carro. Esto sirve para evitar que se obstruyan -

las aperturas de la tolva. Otro medio de evitar la obstrucción es usar trituradoras de un solo rodillo, de las llamadas rompedoras de carbón congelado. Los largos dientes en los rodillos de la trituradora se proyectan dentro de la tolva para romper los trozos grandes.

El manejo de carbón congelado puede ser muy costoso. Además, toda la formación de diseño especial, tal como el contenido de humedad, tiempo de tránsito desde la mina hasta la ubicación de la planta y datos similares, no siempre están disponibles con la facilidad que se desea. Debido a la importancia de los costos implicados, se debe hacer una investigación completa antes de que las temperaturas bajo cero puedan plantear problemas agudos.

#### 4.13.4 DESCARGA DE CARBON POR MEDIO DE CAMIONES.

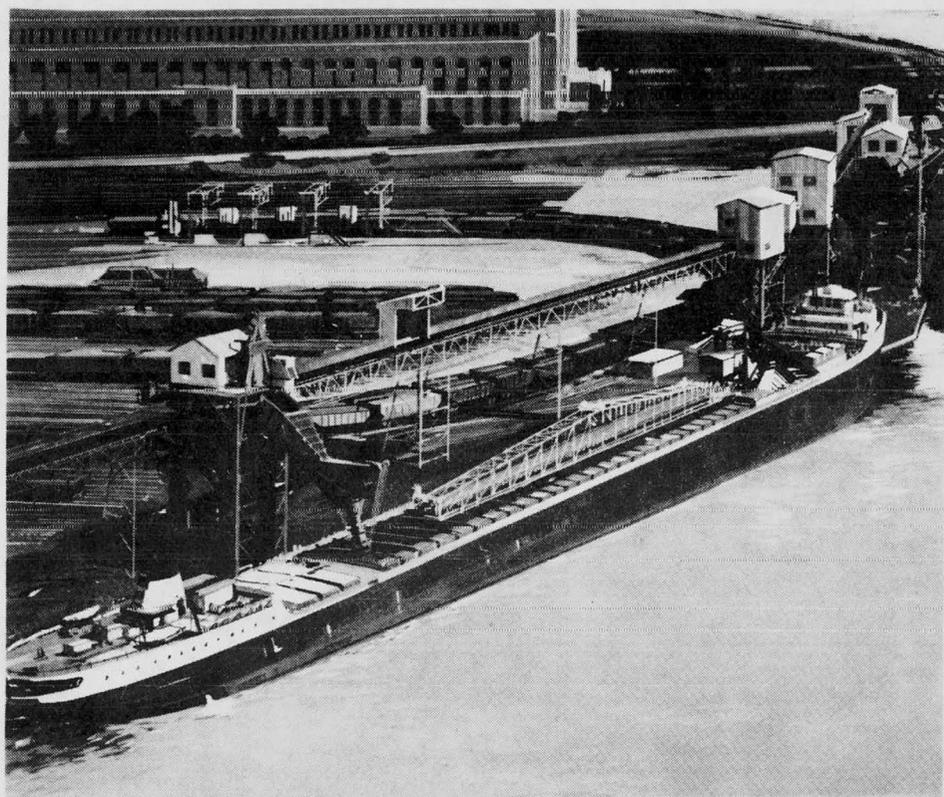
Dependiendo de lo cerca que pueda estar la mina de la planta, se puede proceder al suministro de carbón por medio de camiones.

Este sistema es similar a la descarga de vagones de ferrocarril con tolva en el fondo, únicamente diferenciado por que el camión descarga por sí mismo el carbón y que su capacidad es inferior.

Los problemas que pudieran presentarse, resultan menores debido a la misma capacidad del camión.

#### 4.13.5 TRANSPORTE DE CARBON POR BARCO.

La descarga de carbón por ferrocarril es lo más considerable; -- pero aún así, la descarga por medio de barcos no es desconocida y es ca-



OPERACION DE DESCARGA DE CARBON DE UN BARCO.

da vez más utilizada.

La economía de este transporte hace que las plantas que están situadas en las cercanías del mar o canales adopten este sistema.

Por varios años se ha empleado la descarga de barcos por medio de un descargador de almeja. Estadísticas que han llevado respecto a la operabilidad de este equipo, han demostrado que se llega a perder un 40 % del tiempo requerido para la descarga completa del barco, debido a la poca habilidad de los operadores.

Este punto, llevó a los Ingenieros de Diseño a buscar un equipo que superara las deficiencias del descargador de almeja.

Hoy en día, existen descargadores de barcos empleando un sistema de elevación del carbón por medio de cangilones, viendo de esta forma, -- que la descarga puede ser continua.

Este tipo de descargador es variable en su capacidad de recolección de carbón del barco y se ha comprobado que llegan a operar a una capacidad de 1 800 Ton/h.

#### 4.13.6 TRANSPORTE DE CARBON POR TUBERIA.

El concepto de bombear carbón por medio de agua, por tubería, -- ha sido aceptado por muchos años en Estados Unidos.

La tubería ha sido construída en varias partes del mundo, durante las dos últimas décadas.

La razón del empleo de este tipo de transporte es que se pueden -- mover grandes cantidades de carbón a grandes distancias.

Por medio de tubería, se elimina el polvo que pudiera provocar el carbón seco y no ofrece problemas con los sistemas eléctricos que pudieran tener los transportadores de banda.

Con un prelavado del carbón, se puede reducir de un 10 % a 20 % - el contenido de azufre, ya que es perjudicial a los quemadores.

Para este tipo de transporte, se debe contar con un sistema de secado para reducir la cantidad de agua que viene acompañada del carbón.

El sistema por tubería puede ser considerado en comparación al -- sistema de transporte por bandas, ya que por tubería ofrece una mejor -- transportación por ser un envío de una sola fase; en cambio, por bandas -- serían varias las fases de recorrido.

En un futuro próximo, el carbón enviado por tubería será utilizado en sistemas de quemado de carbón pulverizado. La contaminación ambiental no tiene problemas y posiblemente la mezcla de carbón se quemará en hornos de ciclón directamente.

El quemado del carbón pulverizado requiere de una eliminación de la humedad antes de que el combustible sea inyectado a los quemadores.

Este sistema deberá ser independiente de la planta para evitar atascamientos en la tubería.

Un control de la humedad del carbón enviado por tubería, hace posible que pueda ser manejado el carbón por otros métodos dentro de la planta.

#### 4.14 TRANSPORTADORES DE BANDA.

Los transportadores de banda se han aceptado desde hace mucho tiempo como un medio muy económico para elevar y transportar materiales a granel. Generalmente, en casi todo el sistema de manejo de carbón se usan las bandas transportadoras, aunque en ciertas ocasiones, es movido por medio de transportadores de cadena sin fin, con paletas o transportadores de tornillo sin fin.

Las bandas transportadoras constan de varias capas de loneta en gomada o recubiertas de goma. Las bandas modernas, que usan construcción de cordón de nylon y tela de rayón y que en algunos casos emplean alambre de acero, han permitido incrementar la longitud de una sola banda hasta de 3 500 m. (de centro a centro de poleas). Por esta razón, las plantas de fuerza pueden estar ubicadas a una distancia considerable de los puntos de recepción del carbón o de las pilas de almacenado.

La confiabilidad y la eficiencia máxima se aseguran utilizando rodillos libres modernos que cuentan con cojinetes antifricción diseñados para que no requieran de una lubricación frecuente, y utilizando factores liberales de seguridad para los motores y los impulsos de flecha. Es actualmente práctica como utilizar sistemas sencillos de banda transportadora hacia los silos, aún para las plantas más grandes.

Cuando se maneja carbón directo de la mina o congelado se considera una buena práctica hacer el ángulo de inclinación de las bandas inclinadas no mayor de 15 °, y de preferencia menor.

Los transportadores de banda usualmente son soportados por puentes o galerías; y están totalmente cubiertos o se dejan abiertos con una cubierta protectora sobre la banda únicamente. En algunas instalaciones de construcción reciente, los transportadores de banda desde el punto de descarga hasta el edificio donde está ubicado el distribuidor de silos, están completamente cubiertos; pero los transportadores de almacenado y recuperación están abiertos.

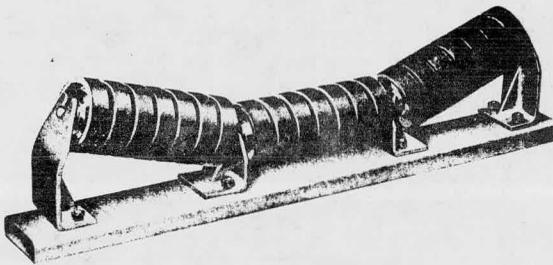
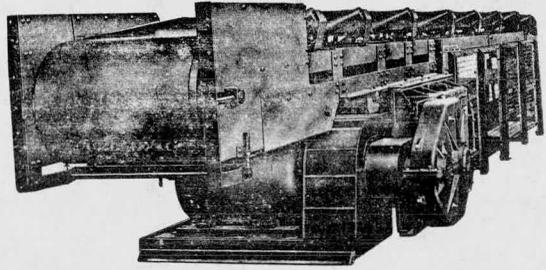
Ha sido práctica común durante muchos años, utilizar poleas locas de  $20^\circ$  para bandas que manejan materiales a granel más pesados, incluyendo el carbón. Las poleas locas con un grado más pronunciado de inclinación, se usaban únicamente para manejar materiales ligeros tales como granos, trozos pequeños de madera y materiales similares.

Las nuevas bandas más ligeras, más fuertes y más flexibles hechas de materiales sintéticos tales como el rayón y el nylon, están reemplazando gradualmente las conocidas bandas de cordón de algodón.

La polea loca de  $35^\circ$  actualmente se usa en forma común para el sistema de transporte de carbón incrementando así en mucho la capacidad de la banda para un ancho determinado.

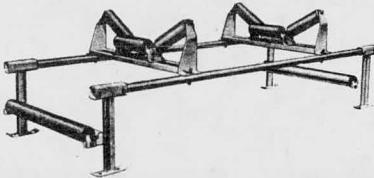
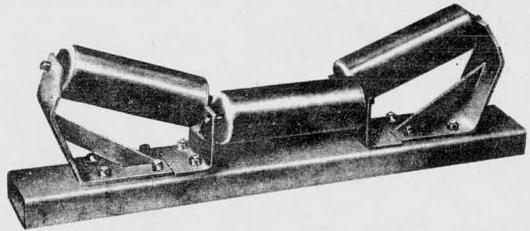
Las bandas transportadoras corren a una velocidad de hasta 2.5 m/seg. La porción cargada de la cinta es llevada por poleas tensoras de guña. Las poleas exteriores van montadas en un ángulo, hacia el horizontal, para producir el pasaje de la cinta. Para cintas de 45 cm. a 75 cm de ancho, los rodillos de carga están separados entre sí por unos 1.5 m. Todos los rodillos en que se apoya la cinta en su retorno son horizontales,

BANDA  
TRANSPORTADORA



RODILLOS DE  
IMPACTO

RODILLOS DE  
CARGA DE



SOPORTE ESTRUCTURAL  
DE UN TRANSPORTADOR  
DE BANDA, MOSTRANDO  
RODILLOS DE CARGA Y  
RODILLOS DE RETORNO

por lo que la cinta es plana y están separados por espacios de 3 m. La cinta es dirigida desde el extremo de la descarga y se mantiene tensa por medio de tensores.

#### 4.15 SISTEMA DE TRANSPORTE.

En varios lugares en el sistema de transporte se instalan separadores magnéticos para remover los materiales ferrosos. Estos materiales pueden dañar los pulverizadores o molinos o requerir que la potencia de una caldera se reduzca mientras se reparan.

Las capacidades de las bandas transportadoras siempre se diseñan para manejar más del 100 % de capacidad de carga. La capacidad en excedente con frecuencia es aproximadamente de 50 %. Este factor permite realizar cambios en las características del combustible y proporciona la posibilidad de rellenar los silos después de un paro de emergencia de alguna parte del sistema de transporte.

Las bandas transportadoras tienen capacidades que han sido publicadas o reconocidas que en realidad se basan en el volumen, no en el peso. Para asegurar que las bandas no se sobrecarguen, es necesario regular o limitar la cantidad de carbón que se coloca en la primera banda del sistema. Para hacer esto, se instalan los alimentadores. Generalmente, serán éstos los que regulen la alimentación del carbón, en la tolva de suministro inicial, tolva de emergencia y en el almacenado activo, hacia los silos de las calderas.

#### 4.16 OPERACIONES DE ALIMENTACION DEL CARBON.

Se debe emplear algún tipo de medios de regulación de la alimentación, particularmente cuando la banda transportadora se carga desde las tolvas, silos o pilas de almacenamiento. El material descargado de una banda transportadora a otra, requiere únicamente de un conducto de transferencia adecuado. Sin embargo, la velocidad de alimentación se debe establecer sobre una parte del sistema de transporte.

La elección de los alimentadores depende del carácter del material manejado, de la manera en que el material se almacena, y del tonelaje del consumo de alimentación.

##### 4.16.1 ALIMENTADOR DE BANDA.

Es una banda transportadora de un tipo muy corto, normalmente instalado debajo de algún tipo de sistema de almacenado. En general, la banda es plana y está soportada por los rodillos libres espaciados muy cerca o en una placa lisa inclinada.

Los alimentadores de banda se usan principalmente para manejar material fino, que fluye libremente, abrasivo y desmenuzable. Los alimentadores de banda correctamente diseñados también se pueden usar para materiales en trozo. La velocidad de alimentación es controlada ya sea por medio de una compuerta de cierre ajustable y/o un cambio en la velocidad de la banda.

Cuando se usan poleas de descarga de pequeño diámetro en el ali-

mentador de banda, existe una pequeña pérdida de altura en la transferencia del material a la banda receptora.

#### 4.16.2 ALIMENTADOR DE CUCHARA DE ARRASTRE.

Algunas veces llamado alimentador de barra de arrastre. Consiste en una sucesión de placas o barras montadas entre dos torones de cadena de transportador. Las placas o barras se arrastran a lo largo del fondo de una artesa.

Los alimentadores de cuchara de arrastre proporcionan un acomodo simple y compacto para controlar la alimentación de material fino o trozos pequeños. Puede estar totalmente cerrado para reducir la formación de polvo. Si las placas o barras de arrastre se colocan muy cercanas entre sí y el material en la artesa alimentadora es profundo, existe muy poca pulsación en el flujo del material. Sin embargo, si las cucharas de arrastre están espaciadas ampliamente entre sí, y la profundidad del material de la artesa del alimentador es poca, el flujo del material a granel será intermitente.

#### 4.16.3 ALIMENTADOR VIBRADOR.

Pueden manejar con éxito una amplia gama de materiales. Sin embargo, su uso debe evitarse cuando el material sea de una naturaleza tal que se pegue y se acumule en la superficie de la charola o artesa. Se debe tener cuidado al diseñar la apertura del silo a través de la cual fluye el material al alimentador. El diseño de esta apertura tiene un efecto

apreciable en las velocidades de alimentación.

#### 4.16.4 ALIMENTADOR DE TORNILLO.

Generalmente están localizados debajo de una tolva de almacén o de un canalón de transferencia para controlar y regular la alimentación uniforme y constantemente.

La capacidad de alimentación está regulada por la velocidad del tornillo.

#### 4.16.5 ALIMENTADOR MANDIL.

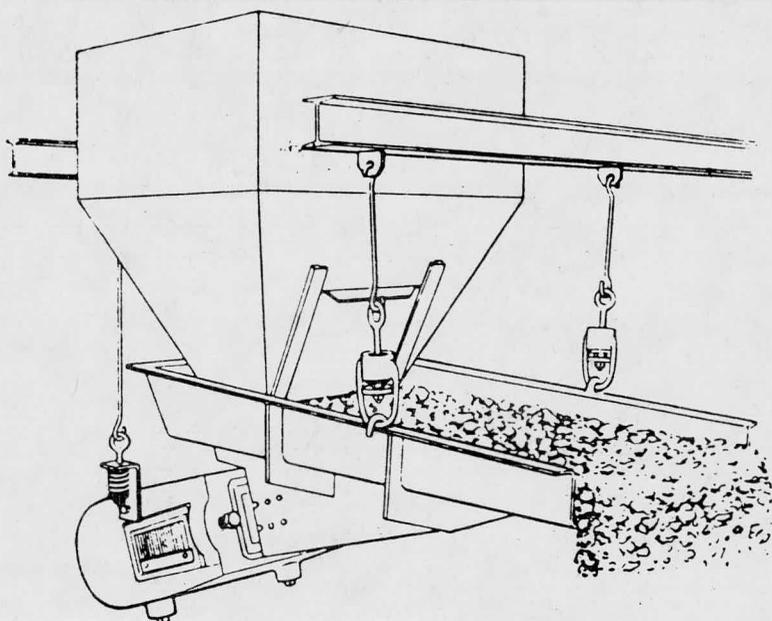
Este tipo de alimentador se usa para material abrasivo, grueso y aterronado. El material es llevado por medio de placas o guardas colocadas a los lados del transportador.

#### 4.16.6 ALIMENTADOR DE PLACAS.

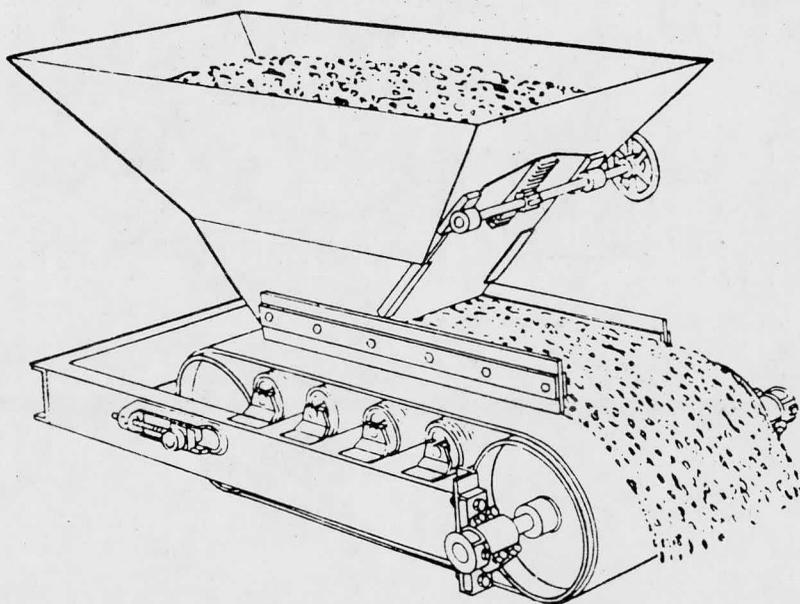
Es un tipo de alimentador colocado debajo de una tolva regulando la carga por medio de una placa corrediza verticalmente. La elevación o descenso de esta placa es la que regula la capacidad de alimentación al sistema. Es un tipo de alimentador de carbón de los más viejos en diseño.

#### 4.16.7 ALIMENTADOR DE CANGILONES.

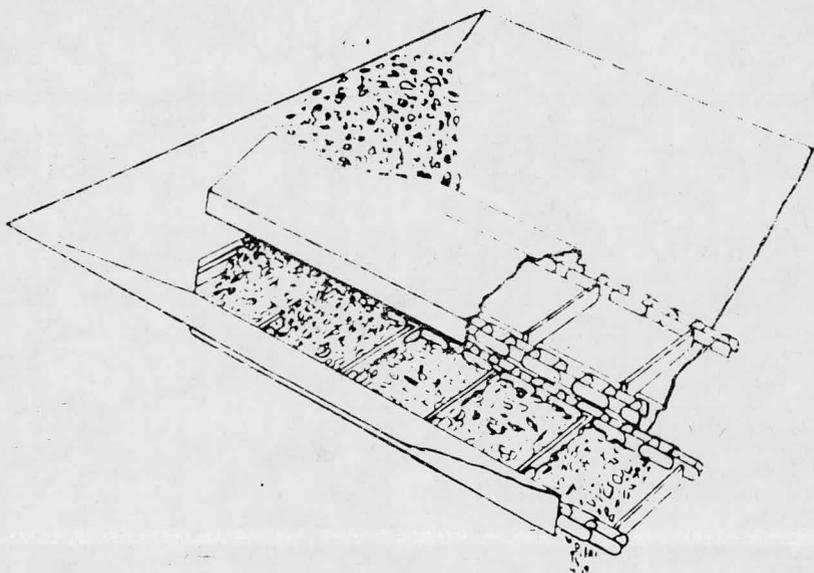
Pueden ser verticales u horizontales, según la necesidad y disposición del equipo adyacente. Consta de una cadena de cangilones que están



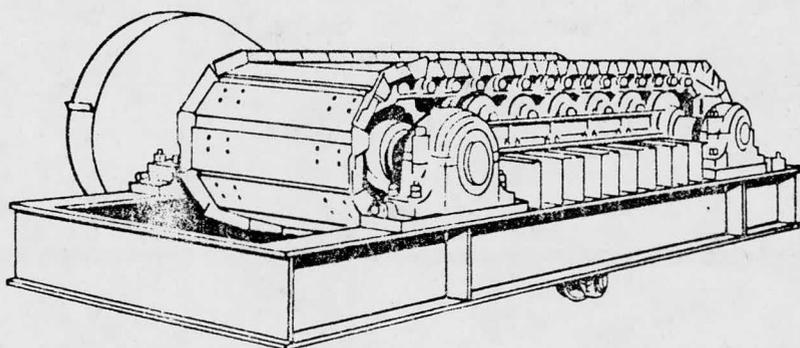
ALIMENTADOR VIBRATORIO



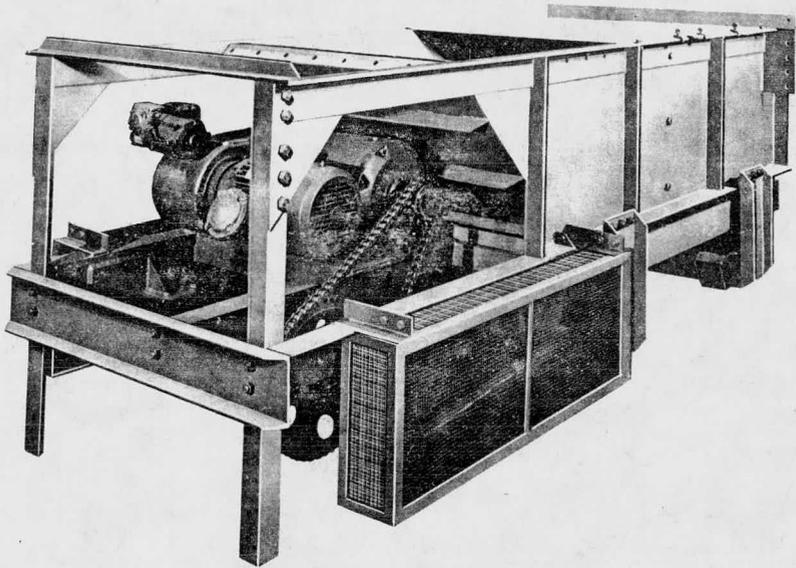
ALIMENTADOR DE BANDA



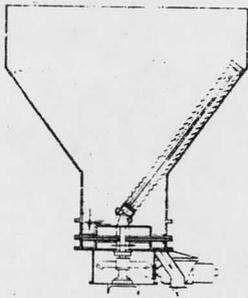
ALIMENTADOR DE RASQUETA



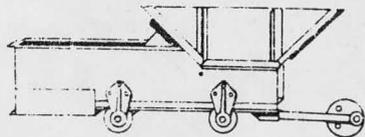
ALIMENTADOR DE PLACAS



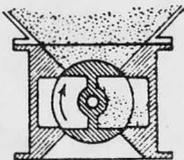
ALIMENTADOR RECIPROCO



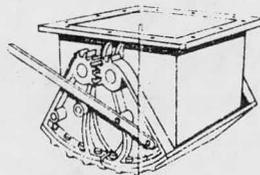
DESCARGADOR DE  
MESA GIRATORIA



ALIMENTADOR DE VAIVEN



ALIMENTADOR  
GIRATORIO



ALIMENTADOR DE  
COMPUERTA

unidos entre sí.

Generalmente están cubiertos en su totalidad por una coraza de material metálico, lo cual hace controlar la contaminación del polvo que se produce en el movimiento del carbón.

#### 4.16.8 ALIMENTADOR DE COMPUERTAS.

Según las necesidades de operación, es conveniente poner, debajo de las tolvas un mecanismo de compuertas que actúa automática o manualmente.

Se usan generalmente en aquellos tolvas que no es necesario graduar la descarga; es decir que se puede vaciar todo el contenido de la tolva.

#### 4.17 MOLIENDA.

El objeto de la operación de desintegración no consiste solamente en obtener "pequeños trozos a partir de los grandes", en cuyo caso la efectividad de la operación se mediría por la finura del material obtenido, sino que también persigue la consecución de un producto que posea un determinado tamaño granular, comprendido entre límites preestablecidos.

Para la reducción de tamaños sólidos desde 30 cm. de diámetro, hasta el de 200 mallas, suelen emplearse tres etapas, que se establecen según los tipos de máquinas mejor adaptadas a cada una de ellas:

- A. - Reducción de tamaños basta o grosera: alimentación desde 5 cms. hasta 250 cms.

- B. - Reducción intermedia de tamaños: alimentación desde 2 cms. hasta 8 cms.
- C. - Reducción fina de tamaños: alimentación desde 0.5 cms. hasta 3 cms.

#### 4.17.1 VARIABLES DE LA OPERACION.

Para la reducción del tamaño de los sólidos, tiene importancia su contenido de humedad. Cuando es inferior a 4 % en peso no surgen dificultades apreciables; por el contrario, la presencia de esta pequeña humedad ejerce, en realidad, una acción beneficiosa en la reducción de tamaños, en especial por la gran disminución que determina en la cantidad de polvo. Cuando el contenido de humedad excede del 4 %, muchos materiales se vuelven pastosos y adherentes, tendiendo a atascar las máquinas.

#### A. REDUCCION GROSERA DE TAMAÑOS.

##### I. - QUEBRANTADORES GROSEOS PARA MATERIALES DUROS.

1. - QUEBRANTADORES DE MANDIBULAS. - Actúan por aplicación de una presión trituradora o quebrantadora.
2. - QUEBRANTADORES GIRATORIOS. - Actúan de modo similar a los de mandíbulas, puesto que el elemento móvil desintegrador se acerca y aleja de una placa desintegradora fija.

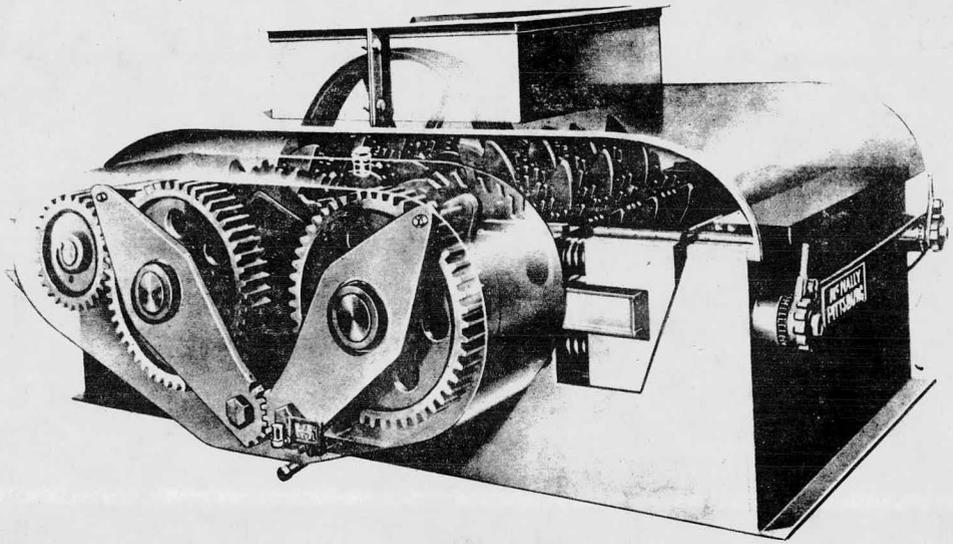
##### II. QUEBRANTADORES GROSEOS PARA MATERIALES BLANDOS.

1. - TRITURADOR BRADFORD. - Reúne dos misiones: rotura y tamizado.

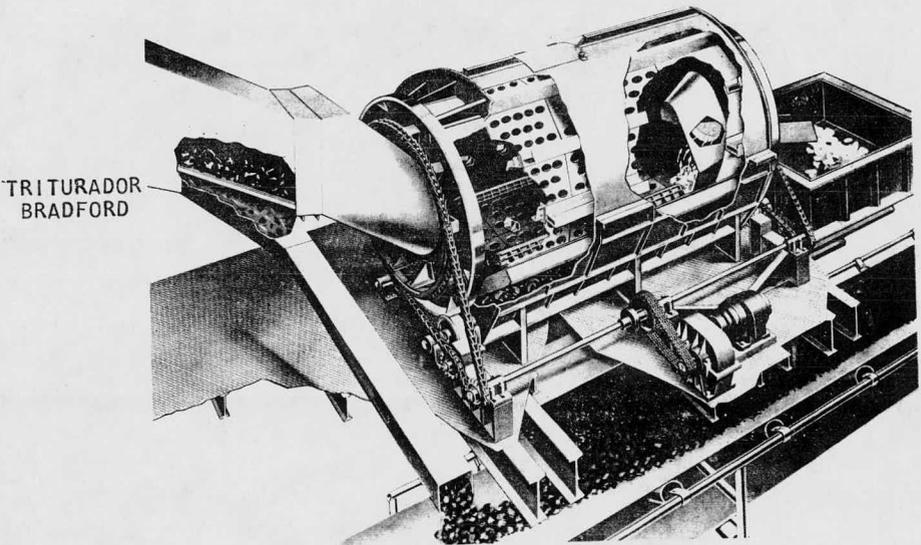
2. - QUEBRANTADOR DE RODILLO DENTADO. - Realiza la desintegración por la presión de los dientes contra los trozos grandes del material, De este modo se evita la producción excesiva de finos. También se utilizan rodillos acanalados o lisos para la trituración grosera de materiales blandos.
3. - MOLINO DE MARTILLOS. - Los pesados bloques de acero que forman sus martillos están sujetos a un disco que gira a elevada velocidad dentro de una caja robusta. Los matillos propinan fuertes golpes al material alimentado, cuando éste se halla en el aire, proyectándolo contra la placa rompedora hasta que es lo suficiente fino para pasar a travéz de los huecos que quedan entre las barras situadas en el fondo de la caja, y que actúan de tamiz.

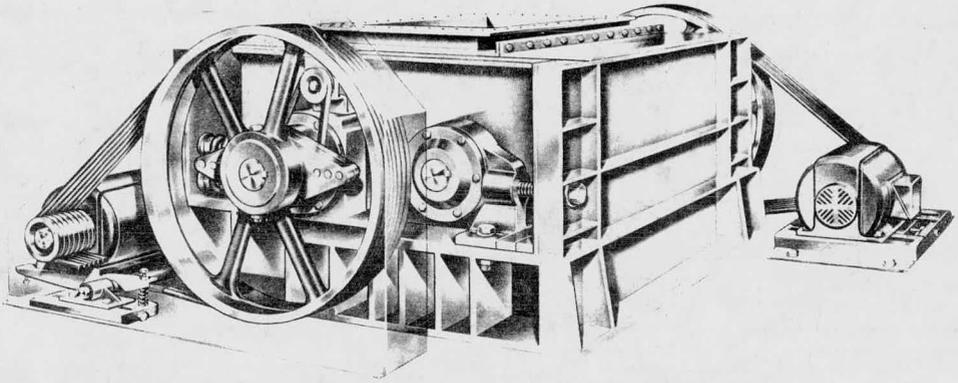
#### B. REDUCCION INTERMEDIA DE TAMAÑOS.

1. - TRITURADORES DE CONO. - Su funcionamiento es análogo al del quebrantador giratorio.
2. - GYRASPHERE DE TELSMITH. - Es una variante del triturador de cono.
3. - TRITURADOR DE RODILLOS. - Está formado por dos cilindros robustos que giran en sentidos opuestos; la alimentación es aplastada y arrastrada hacia abajo por frotamiento entre los rodillos.
4. - BOCARTES O MOLINOS DE MAZOS. - El método más antiguo -

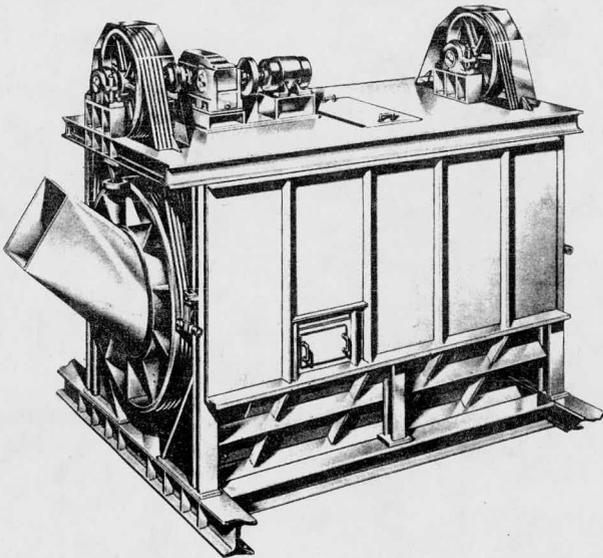


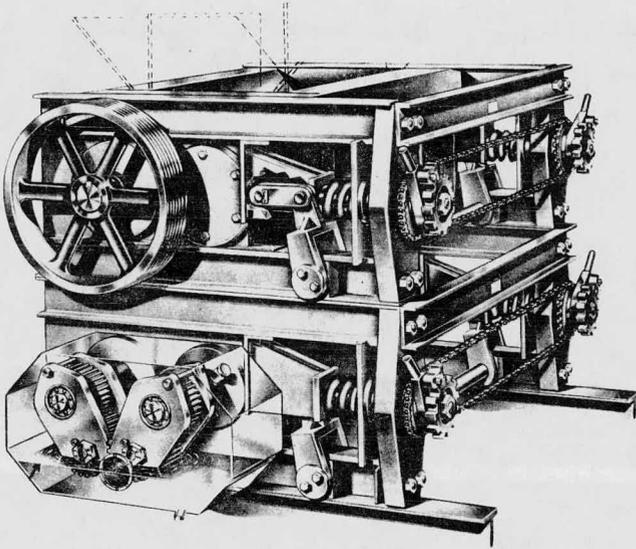
TRITURADOR DE DOBLE RODILLO



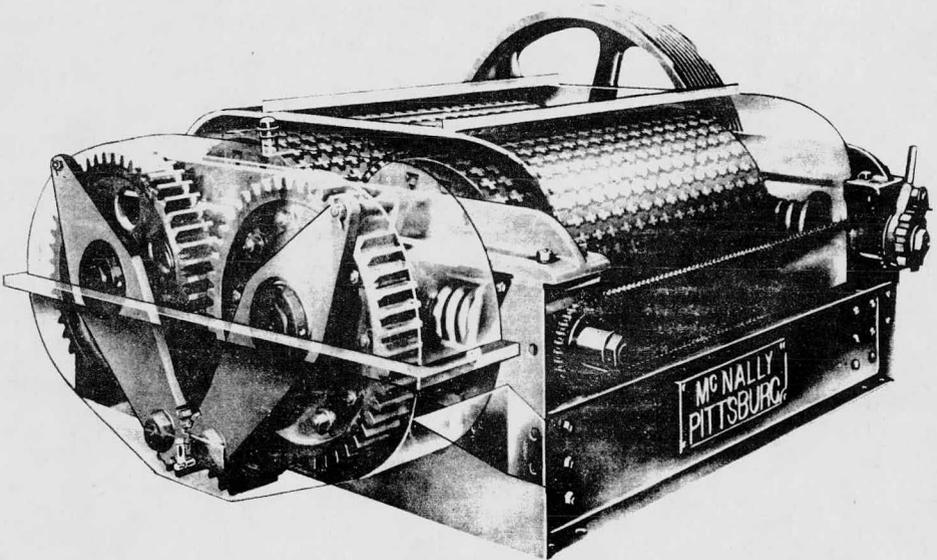


TRITURADOR DE SERVICIO PESADO

TRITURADOR  
GIRATORIO  
SUSPENDIDO



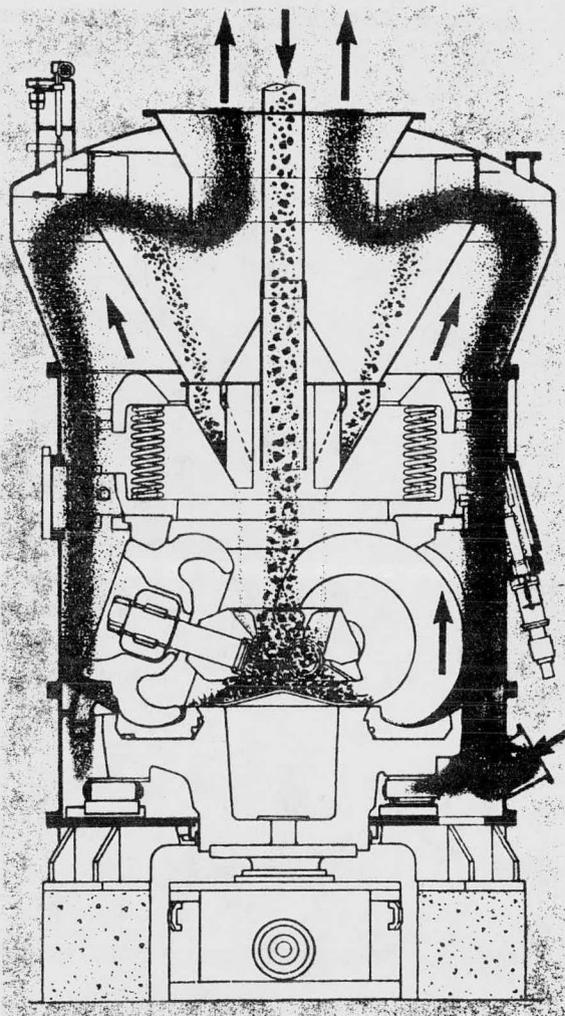
TRITURADORAS DE CARBON



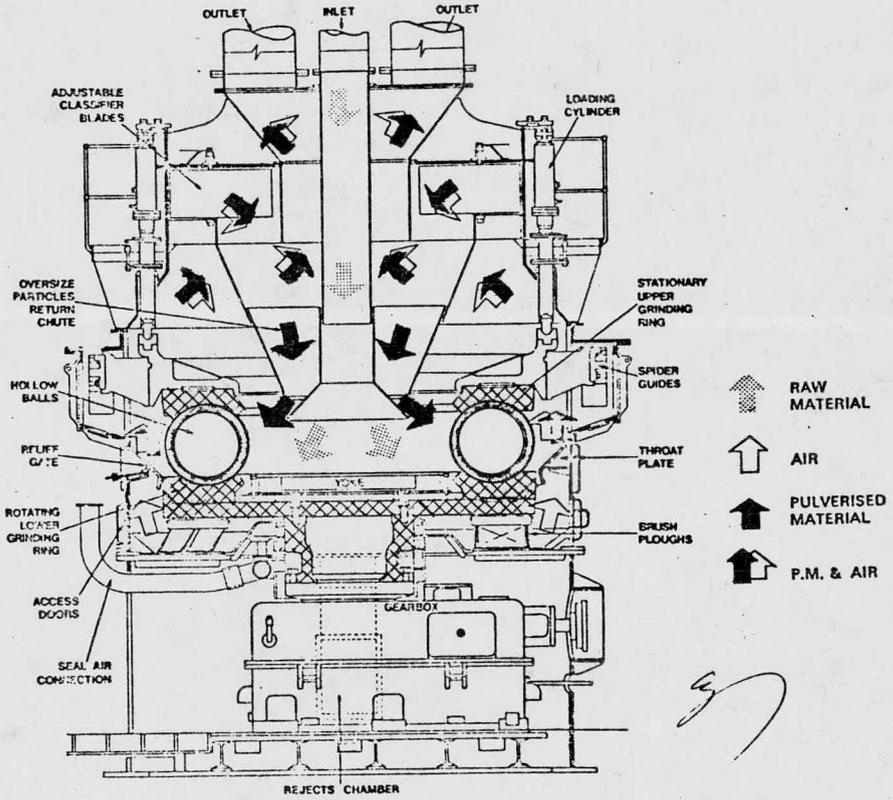
que consiste en levantar un objeto pesado y dejarlo caer sobre el material a romper.

### C. REDUCCION FINA DE TAMAÑOS.

1. - MOLINO DE BOLAS. - Consisten en cámaras giratorias de acero, de forma cilíndrica o tronco-cónica, llenas hasta su mi-tad con bolas de hierro o acero, y, en ciertos casos con guijarros.
2. - MOLINO DE RODILLOS. - Consiste en dos rodillos suspendi-do equilibradamente en árboles que giran de prisa accionados desde el extremo superior del eje principal. Por acción de la fuerza centrífuga, los rodillos giratorios ejercen presión so-bre un anillo triturador estacionario. Una aleta rascadora, sujeta a la cubierta protectora del eje principal, gira con éste y conduce al producto hacia la zona de trituración.
3. - MOLINO DE CORONA TRITURADORA. - Puede considerarse - como el perfeccionamiento moderno del molino chileno, en el cual, los ejes horizontales de los rulos suelen ser estaciona-rios, y lo que gira es una plataforma plana que soporta al ani-llo triturador.
4. - MOLINOS DE REJILLA. - El producto pasa a través de los ori-ficios de una rejilla vertical, o diafragma.
5. - MOLINO "COMPOUND" DE BOLAS. - Consiste de dos, tres, ó



MOLINO DE RODILLOS  
(PULVERIZADOR)



MOLINO DE BOLAS  
(PULVERIZADOR)

cuatro compartimentos cilíndricos sucesivos, separados entre sí por rejillas. Cada uno de los sucesivos compartimentos - - tiene diámetro menor que el anterior y llevan cargas de bolas de tamaños decrecientes, para producir una molienda más fina.

6. - MOLINO DE BARRAS. - Son análogos a los de bolas, excepto - en que, en este caso, el agente de molienda está formado por barras de acero en vez de por bolas.
7. - MOLINO TUBULAR. - Han sido reemplazados por los molinos de bolas. Utiliza guijarros de pedernal y revestimiento cerámico, y opera de modo intermitente.

#### 4.18 SILOS DE CARBÓN.

Ya sea que la planta use silos o una tolva grande que alimente varios pulverizadores, es función de los costos, tipo del carbón y, con frecuencia, el juicio profesional del ingeniero.

Independientemente del tipo, la posición de salida es muy importante. Siempre es necesario contar con una sección inclinada, ya sea cónica o rectangular en su forma. La inclinación de la porción en desnivel debe ser cuando menos de  $60^\circ$  medida desde el plano horizontal.

La experiencia de operación previa con cierto carbón puede mostrar que aún esta inclinación de  $60^\circ$  puede ser demasiado pequeña. Es práctica usual el recubrir o fabricar toda la sección inclinada con un mate

rial resistente a la corrosión para asegurar un flujo satisfactorio a través del silo o tolva.

#### 4.19 DISTRIBUCION DE CARBON A SILOS.

Los silos tendrán que ser surtidos con carbón. Un sistema de distribución en la parte superior de los silos se diseña para suministrar periódicamente carbón a cada silo para mantenerlo en condición casi llena. El área por encima de los silos usualmente se llama galera de volteadores. En esta área, el sistema de transportadores distribuye el carbón hacia los silos respectivos como se requiera. Los dispositivos para lograr esa tarea se llaman volteadores.

La cantidad de carbón en el silo puede variar de tiempo de suministro. El número de horas de almacenado será el resultado de estudios anteriores de diseño. Sin embargo, es práctico considerar un tiempo de 12 horas.

La distribución del carbón en los silos de la caldera se puede realizar por varios acomodos diferentes. Uno es un volteo viajero que se mueve hacia atrás y hacia adelante para llenar cada silo, otro se llama sistema de cascada que es una serie de transportadores cortos entre cada silo. Otro sistema incluye un transportador de conducto o el concepto del transportador reversible.

Las bandas largas inclinadas hacia los silos también se consideran. Una buena práctica de diseño es interrumpir la banda transportadora en

el punto en que el transportador entra al edificio, y proporcionar un impulso separado en este punto. La banda distribuidora sobre los silos es entonces, una banda horizontal separada que se puede incrementar en longitud conforme se amplían las instalaciones de la planta.

El carbón para los silos de la planta normalmente provienen del almacén activo o, en el caso de que éste esté vacío o con alguna falla en sus sistemas de recolección, el carbón se tomará del almacén de emergencia o pila muerta.

En algunas plantas actuales, también se instalan molinos, para asegurarse que todo el carbón que está siendo suministrado a los silos haya sido triturado al tamaño requerido por los pulverizadores.

#### 4.20 ALIMENTACION DE LA CALDERA.

Cada silo alimenta a un pulverizador, y según el diseño de la caldera, será la cantidad de pulverizadores que contenga.

Cada pulverizador tiene provisto un alimentador por encima de él que regula la cantidad requerida de carbón dependiendo de la capacidad de carga de la caldera.

#### 4.21 PROVISIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO DE CARBON.

Desde el suministro de carbón, las bandas transportadoras lo moverán en forma tal que sea pesado y muestreado. Estas operaciones se requieren para que así la planta pueda determinar cuánto carbón y qué grado del mismo se recibe y así pueda la planta contabilizar y pagar co-

rrectamente el carbón.

#### 4.21.1 PESADO.

Las provisiones para el pesado del carbón generalmente se instalan en dos ubicaciones de la planta. El primer pesado se realiza en donde se suministra el carbón al lugar de la planta. Las pesadoras pueden estar ubicadas antes de llegar a la tolva de descarga o en un sistema de pesado integrado a la banda transportadora que alimentará el carbón dentro de la planta.

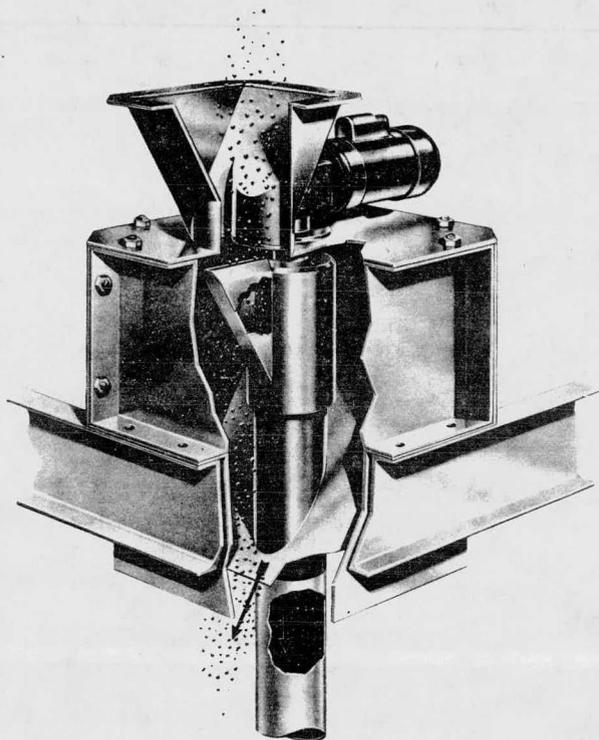
La segunda ubicación para el pesado es en las bandas transportadoras que suministran el carbón a las calderas. Este nuevo pesado se utiliza para registrar la cantidad de carbón que se quema en realidad.

La diferencia entre estos dos pesos indica aproximadamente cuánto carbón está en el área de almacenamiento exterior.

#### 4.21.2 MUESTREO.

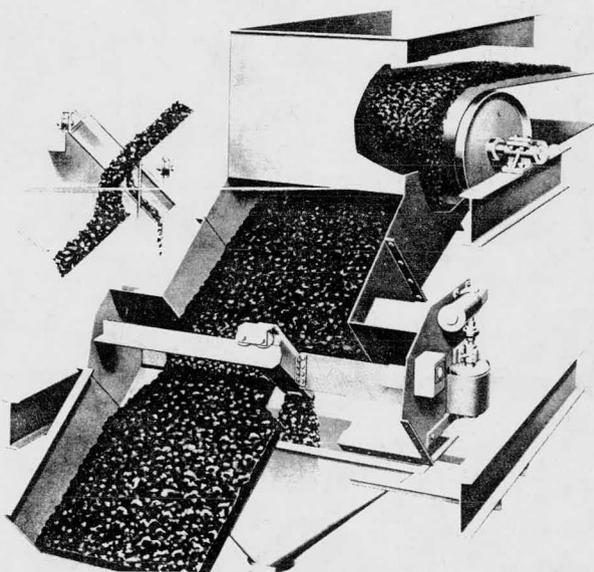
En el pasado, el muestreo ha sido más bien difícil de lograr, sin embargo, están mejorando la confiabilidad y la precisión de nuestras técnicas de muestreo.

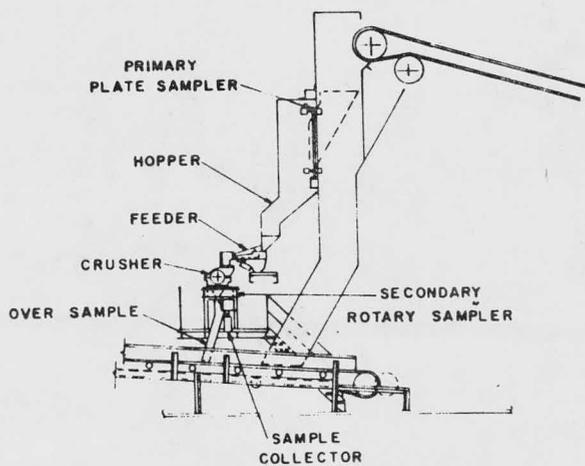
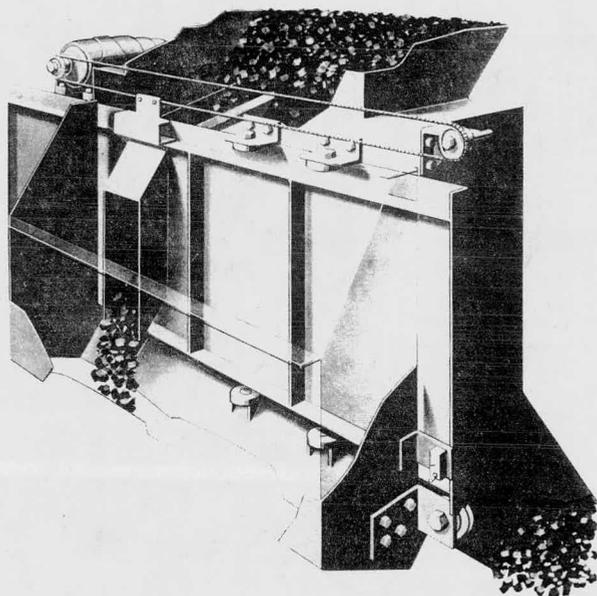
La mayoría de las estaciones grandes tienen muestreadores automáticos. El dispositivo cortador primario de la muestra está diseñado para viajar a través de la corriente de carbón, o entre ella, conforme se descarga de la polea de la cabeza de un transportador ubicado corriente



MUESTREADOR  
GIRATORIO

MUESTREADOR  
DE BANDA





MUESTREADOR DE PLACA CON INSTALACION TYPICA

abajo de la ubicación de la balanza de facturación.

Esta muestra representativa se reduce en tamaño y se tritura y -- después la pequeña muestra se envía a un laboratorio para su análisis. El informe del laboratorio mostrará el poder calorífico, contenido de azufre, contenido de cenizas, etc. que será base para asignar un precio al carbón comprado y que servirá también para hacer ajustes en la operación si es que fuere necesario.

#### 4.21.3 CONTROL DE POLVO.

Otras características necesarias en un sistema de manejo de carbón es la supresión del polvo y los sistemas de control del mismo.

El carbón es inherentemente polvoso y es necesario proporcionar espacios cerrados adecuados y ventilación. Generalmente el aire se controla en forma tal que el flujo se dirija hacia los espacios cerrados y después escape a través de conjuntos de bolsas pequeñas localmente montadas. Algunas veces se rocía agua en el carbón para minimizar la formación de polvo mientras se mueve en las bandas transportadoras.

Por interés de seguridad, del orden y la limpieza, se está prestando más atención a la eliminación o recolección del polvo en los sistemas de manejo de carbón que tienen rejillas y polvo que es muy fino y seco.

Los alimentadores están totalmente cubiertos y encerrados. Los conductores están también totalmente encerrados. Se proporcionan empa-

ques de fieltro para todas las juntas y se toman provisiones para la recolección del escurrimiento de los limpiadores de la banda. Los conductos de cortinas y sellos se proporcionan cuando las bandas entran o salen. Los faldones también están cubiertos y hechos con sellos de doble cinturón así como una o más cortinas contra el polvo.

## V. SELECCION DEL EQUIPO MAS ADECUADO.

El seleccionar un equipo para que una planta trabaje en óptimas -- condiciones, se necesitan aplicar ciertos criterios de diseño.

A través del tiempo, la selección y adquisición de equipos se efectúa en diversas formas, desde aquellas donde la especificación del equipo a adquirir queda reducida a su mínima expresión solicitando únicamente - cumplimiento de una condición de operación dada o el cumplimiento de algún código o norma, hasta la elaboración de especificaciones separadas, - para cada uno de los componentes de la misma, pasando por situaciones - intermedias como adquisición por sistemas o procesos y agrupamiento de equipos semejantes (por ejemplo alimentadores, transportadores, molinos, etc.).

La preparación de una buena especificación técnica para compra - de un equipo es esencial para asegurar, primero, una buena propuesta - por parte del vendedor y, segundo, una buena evaluación del equipo que - abarque los factores requeridos; de entre ellos podemos mencionar costo, vida útil, confiabilidad, capacidad, eficiencia, desgaste, operabilidad, - experiencia, mantenimiento, etc.

Debido a que la selección de un equipo no puede hacerse independientemente, se deberá hacer una consideración general de varios factores como arreglo de la planta, suministro de combustible, requerimientos - para la operación, etc. A continuación, se menciona un anteproyecto de un sistema de manejo de carbón para la planta termoeléctrica de "Río Escondido".

## 5.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

La planta termoeléctrica de "Rfo Escondido" estará localizada - - aproximadamente a 29 Km. al Suroeste de la Ciudad de Piedras Negras, - Coahuila y será accesible por la carretera federal No. 57 México-Piedras Negras y por la vfa del Ferrocarril Monterrey-Piedras Negras.

El proyecto consiste en cuatro unidades turbogeneradoras de una capacidad de 300 MW cada una; cada unidad tiene un generador de vapor, diseñada para quemar carbón con alto contenido de cenizas.

El sistema de carbón especificado será un componente íntegro de facilidades requeridas para suministrar el combustible a cuatro unidades generadoras de vapor quemando el carbón pulverizado con una capacidad máxima de carga de quemado de 154 Ton/hora, basado en un carbón con un poder calorífico de 4700 Kcal/Kg.

El carbón requerido para las cuatro unidades a 100 % de carga es de 15 000 ton/día. Esto está basado en un carbón con un contenido de cenizas de 37 %. Además, los análisis muestran que el contenido de cenizas puede llegar hasta 50 %.

El carbón se recibirá en tamaños de 3" y 4" por medio de bandas transportadoras desde las minas durante 14 horas/día y 5 días/semana.

El carbón abastecido de las minas será un carbón mezclado de las diferentes zonas.

De aquí, el carbón pasará a las pilas de almacenamiento o directamente a la estación de molienda en donde se controlará una granulome - -

tría de 1 1/4" y pasará finalmente a una tolva amortiguadora de distribución, de donde se alimentará a los silos.

Cada unidad, tendrá cinco silos respectivamente. Solo trabajaran cuatro y uno quedara de reserva.

Los silos tendran una capacidad para 15 horas de operación.

El sistema incluirá todas las facilidades necesarias para la recepción, pesado, muestreo, pila activa y pila muerta con equipo respectivo de apilado y recogido, tolva para alimentar molinos, silo amortiguador distribuidor y todo el transporte conectado entre sí requerido para constituir un sistema completo desde la recepción hasta la alimentación de los silos de cada unidad.

El diseño del sistema estará basado de acuerdo con el programa de envío entre el carbón suministrado y la utilidad y relación de quemado de los generadores de vapor operando al 100 % de carga.

Los transportadores, equipo apilador-recogedor, sistema de pesado en bandas y sistema de muestreo, serán diseñados para el 150 % de carga.

La pila activa tendrá una reserva para 6 días y la pila muerta para 30 días, ambas para una operación al 100 % de carga.

Los molinos tendrán una capacidad de 150 % de la cantidad necesaria de carbón al 100 % de carga del generador.

El diseño del sistema de manejo de carbón estará basado en un servicio contínuo de 24 horas/día y 7 días/semana.

5.2. PLANTA TERMoeLECTRICA "RIO ESCONDIDO"  
UNIDADES 1, 2, 3 Y 4  
SISTEMA MANEJO DE CARBON  
ANTEPROYECTO

DIAGRAMAS DE REFERENCIA:

LOCALIZACION DE LA PLANTA

DIAGRAMA DE FLUJO

A. - DESCRIPCION DEL SERVICIO.

El sistema de transportadores enviarán el carbón de una estación de transferencia hacia el patio de almacenamiento, estación de molienda, tolva de alimentación de silos y finalmente a los silos de las cuatro unidades.

El carbón será enviado a una pila activa para 6 días por medio de una máquina apilador-recogedor. El proceso del sistema de manejo de carbón es el siguiente:

1. - El carbón con tamaño de 3" y 4", será enviado desde las minas hasta la planta por medio de tres bandas transportadoras y será depositado en la tolva de transferencia, (A-1) que estará colocada en el interior de la planta.

La tolva tendrá su respectivo alimentador (A-1A) que dejará pasar el carbón al transportador principal (BC-1).

2. - En la parte superior de la tolva, se colocarán tres separadores magnéticos (SM-1), (SM-2) y (SM-3) colocados sobre la polea motriz de los transportadores que vienen de las minas.

3. - El carbón pasará por el transportador (BC-1) en donde será -  
pesado por medio de una banda pesadora y muestreado por un  
sistema muestreador automático (M-1) para analizar el car- -  
bón "como se recibe".
  4. - Una máquina apilador-recogedor (A-5), formará la pila activa  
(A-7) y este carbón podrá apilarse a un lado por medio de equi -  
po pesado para formar la pila muerta. (A-8).
  5. - De la pila activa, el carbón será recogido por medio de la - -  
misma máquina (A-5) y enviado por el transportador (BC-1) -  
hacia la estación de molienda.
  6. - El carbón de la pila muerta, por medio de equipo pesado, - -  
(A-6), será depositado en la tolva de emergencia (A-2), pro -  
vista de una alimentador (A-2A) que dejará pasar el carbón al  
transportador (BC-2) y éste enviará el carbón a la misma es -  
tación de molienda.
  7. - En la estación de molienda se contará con una tolva (A-3) que  
recibirá el carbón que venga de la pila viva o de la pila muer -  
ta.
- Esta tolva, tendrá dos salidas en la parte inferior para poder  
suministrar el carbón al sistema por medio de dos alimenta -  
dores (B-1) ó (B-2), según lo requiera la operación.
8. - Se contará con dos separadores magnéticos (SM-4) y (SM-5) -  
colocados sobre las poleas motriz de los transportadores - -

- (BC-1) y (BC-2).
9. - En la parte superior de la tolva (A-3), se contará con un sistema de doble cribado (A-9) para que el material de menos de 1 1/4" no pase a los molinos y así poder reducir carga a los mismos y también para evitar el paso a material extraño arriba de 5" que pudiera dañar a los molinos.
  10. - En la estación de molienda estará colocado un sistema de muestreo automático (M-2) por medio del cual se podrá analizar el carbón "como se quema"
  11. - Se contará con dos molinos (B-3) y (B-4) que deberán controlar una granulometría de 1 1/4".
  12. - El carbón que pase por los molinos, se depositará en los transportadores (BC-3) ó (BC-4) según el molino en operación.  
Sobre estos transportadores, estarán colocados dos detectores de metales (DM-1) y (DM-2), uno para cada transportador.
  13. - Estos transportadores estarán en paralelo, y enviarán el carbón a la tolva de alimentación de silos. (B-6).
  14. - En la parte superior de la tola tolva(B-6), se colocará un sistema de distribución de carbón (B-5) para un mejor acomodo del carbón dentro de la tolva y un sistema de cribado para tamaño de 3" con el fin de evitar a el paso de algún material que pudiera dañar el equipo.

15. - La tolva (B-6) tendrá cuatro salidas que alimentaran el carbón a los silos por medio de cuatro alimentadores (C-1), (C-2), (C-3) y (C-4).
16. - Se contará con cuatro sistemas de transportadores tipo cascada que alimentarán directamente los silos. Dos sistemas serán para las unidades 1 y 2 y otros dos sistemas para las unidades 3 y 4.
17. - Se contará con un sistema de celdas de carga para los silos y aquellos otros lugares que lo requiera la seguridad de la operación.
18. - Se contará con un sistema de control de polvos en los lugares que se requiera.
19. - El carbón de los silos será alimentado a su respectivo pulverizador por medio de alimentadores tipo gravimétrico.
20. - La granulometría del carbón, después de haber pasado por los pulverizadores, será con un control del 70 % a través de la malla 200 ó 98.5 % a través de la malla 50. Los pulverizadores tendrán un separador integrado.
21. - El carbón pulverizado será enviado a los quemadores de las calderas.

#### B. - SISTEMA DE CONTROL DE POLVOS.

Las emisiones de polvo en el sistema de manejo de carbón estarán controladas por recintos, supresores de polvo por rociado y colector

de polvos tipo bolsa.

Todos los transportadores, excepto (BC-1), estarán cubiertos.

El sistema de control de polvos por rociado, utiliza una solución química que baña el carbón cuando éste está en movimiento y pasa por algún canalón, o en los lugares que se produce polvo a la caída del carbón.

El colector de polvos tipo bolsa, recoge el polvo producido en el movimiento del carbón y lo manda a una tolva para finos. El sistema está auxiliado por un ventilador de tiro forzado.

El colector de polvos tipo bolsa se usa para contener el polvo y llevarlo dentro de los silos o descargarlo sobre bandas.

El sistema de rociado estará colocado en los transportadores y será accionado automáticamente por las bandas cuando éstas lleven carga.

El sistema de supresión de polvos estará dividido en cuatro subsistemas: en la estación de transferencia, en la estación de molinos, en la tolva alimentadora de silos y en silos.

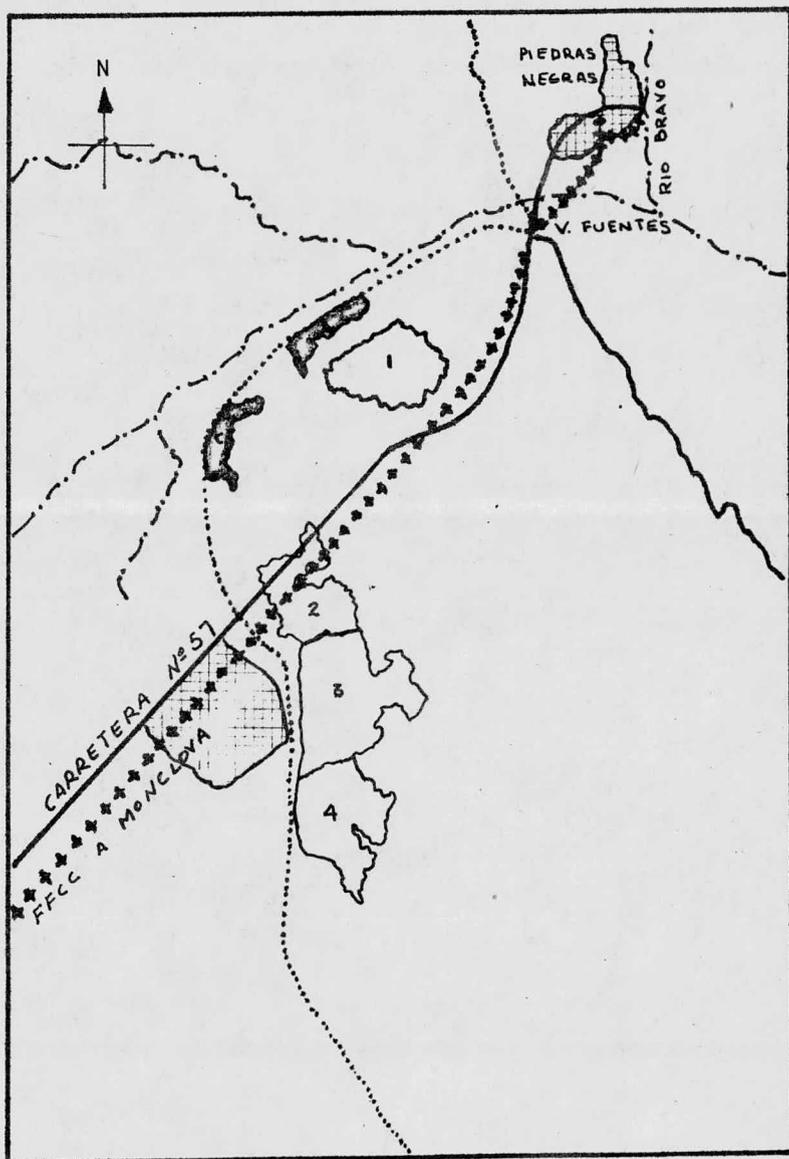
Los colectores pueden arrancar y parar automáticamente o manualmente.

#### C. - SISTEMA DE MUESTREO DE CARBON.

"Como se recibe". - Es un muestreo automático de dos pasos. La muestra es recogida de la banda en movimiento y cargada y la muestra pasa a un molino. Del molino, una parte se va para una pequeña tolva al -

macén y la otra parte regresa a depositarse sobre la banda.

"Como se quema". - A pesar que el mismo carbón que pasa por -- A-1 es el mismo carbón que puede muestrear este sistema, pero hay que pensar que puede un carbón estar en las pilas de almacenamiento (activa o muerta) y el tiempo que pueda estar el carbón almacenado puede hacer - cambiar las propiedades del mismo.



LOCALIZACION DE LA PLANTA

## AREA "A"

Está localizada a una distancia promedio de 11 Km. al SW de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. La superficie es de 221 hectáreas y fué explorada mediante un total de 70 barrenos. El manto de carbón tiene profundidades de 16 a 70 mts. y se ha planeado una explotación a cielo abierto. La reserva comprobada de carbón en esta área es de 8.9 millones de toneladas.

## AREA "C"

Está localizada entre los 13 y 16 Km. al SW de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. La superficie es de 300 hectáreas y fué explorada con un total de 74 barrenos. El manto de carbón tiene profundidades que varían de 25 a 60 mts., por lo que está planeada su explotación a cielo abierto. La reserva comprobada de carbón es de 11.3 millones de toneladas.

## AREA 1

Está localizada entre los 8 y 11 Km. al SW de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. Tiene una superficie de 1164 hectáreas y fué explorada con un total de 289 barrenos. Los mantos de carbón se encuentran a profundidades variables de 40 a 130 mts., teniendo que ser la explotación de tipo subterráneo. La reserva comprobada de carbón es de 18 millones de toneladas.

## AREA 2

Está localizada entre los 16 y 19 Km. al SW de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. La superficie es de 14 Km. cuadrados y fué explorada con un total de 190 barrenos. La explotación será de tipo subterráneo. La reserva comprobada de carbón en esta área es de 16 millones de toneladas.

## AREA 3

Está localizada entre los 19 y 23 Km. al SW de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. La superficie es de 15.5 Km. cuadrados y fué explorada con un total de 90 barrenos. La explotación será de tipo subterráneo. La reserva comprobada de carbón en esta área es de 30 millones de toneladas.

## AREA 4

Esta área carbonífera está localizada inmediatamente al sur del área 3, entre los 22 y 26 Km. al Sur de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila. Fué explorada mediante un total de 95 barrenos en una área de 13.59 Km. cuadrados. La reserva comprobada de carbón es de 28 millones de toneladas.

## ANALISIS DEL CARBON. -

## Análisis Aproximado

|                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| Humedad          | 6.00 %                     |
| Cenizas          | 37.00 %                    |
| Material Volátil | 25.80 %                    |
| Carbón Fijo      | 31.20 %                    |
| Poder Calorífico | 4367 Kcal/Kg ó 7860 Btu/lb |
| Azufre           | 1.20 %                     |

## Azufre en forma:

|          |        |
|----------|--------|
| pirítica | 0.37 % |
| orgánico | 0.70 % |
| sulfato  | 0.13 % |

## Alcalis solubles en agua

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Na <sub>2</sub> O | 0.056 |
| K <sub>2</sub> O  | 0.007 |

Humedad de equilibrio 7.1

Molibilidad 53

Temperatura de fusión de cenizas 2550 °F

## Análisis Ultimo.

|                |         |
|----------------|---------|
| Carbón         | 44.69 % |
| H <sub>2</sub> | 3.33 %  |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| N <sub>2</sub>  | 0.92 %  |
| Cl <sub>2</sub> | 0.02 %  |
| Azufre orgánico | 0.60 %  |
| Cenizas         | 37.00 % |
| O <sub>2</sub>  | 7.44 %  |
| Humedad         | 6.00 %  |

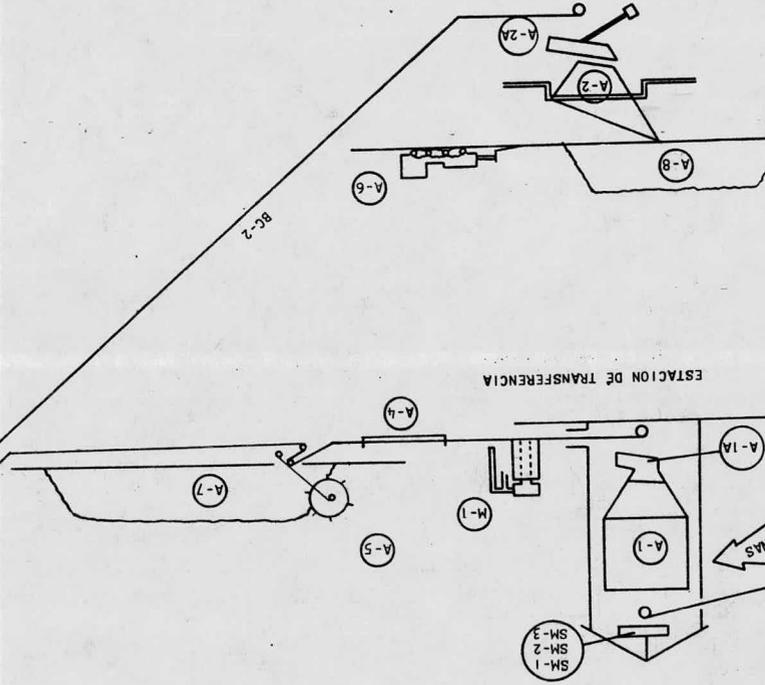
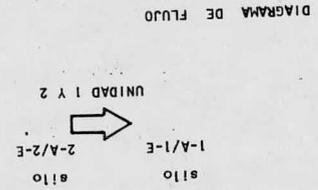
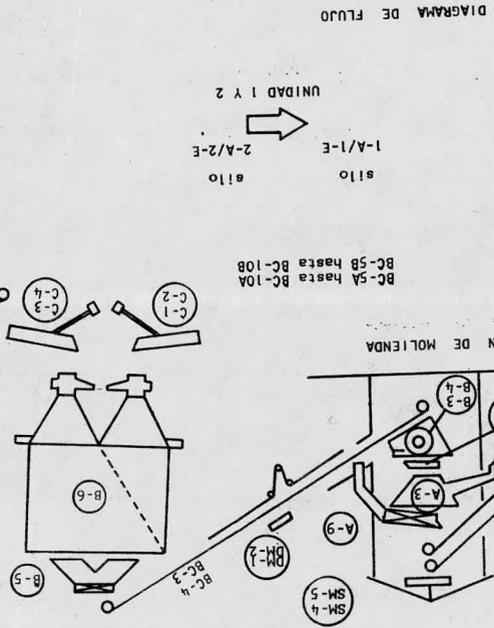
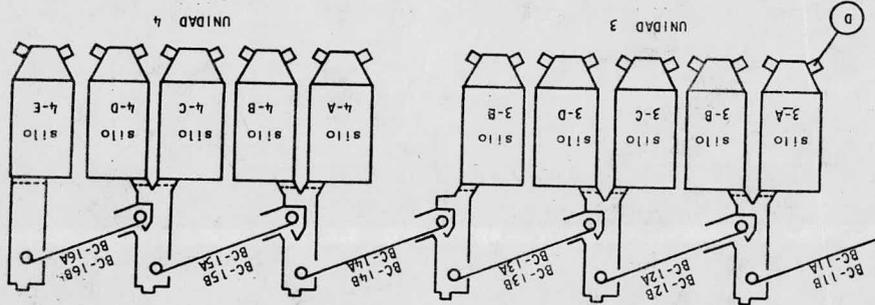
Análisis minerales.

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.05 %  |
| Si O <sub>2</sub>              | 60.30 % |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.20 %  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 29.90 % |
| Ti O <sub>2</sub>              | 0.94 %  |
| Ca O                           | 1.78 %  |
| Mg O                           | 0.36 %  |
| S O <sub>3</sub>               | 1.46 %  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.46 %  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.30 %  |
| indeterminados                 | 0.25 %  |

YACIMIENTO CARBONIFERO DE FUENTES - RIO ESCONDIDO, COAHUILA. PRINCIPALES CARACTERISTICAS.

|             | DENSIDAD REAL |     |     | % HUMEDAD |     |     | % MAT. VOL. |     |     | % CENIZAS |     |     | % CARBON FIJO |     |     | PODER CALORIFICO |        | TIPO DE CARBON  |
|-------------|---------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-------------|-----|-----|-----------|-----|-----|---------------|-----|-----|------------------|--------|---|
|             | MIN           | MED | MAX | MIN       | MED | MAX | MIN         | MED | MAX | MIN       | MED | MAX | MIN           | MED | MAX | Btu/lb           | cal/Kg |   |
| A<br>Y<br>C | 1.3           | 1.4 | 1.6 | 1.2       | 2.2 | 3.5 | 31          | 35  | 40  | 17        | 25  | 39  | 27            | 36  | 42  | 9646             | 5465   | SUB-BITUMINOSO<br>A,B Y C<br>NO<br>COQUIZABLE             |
| 1           | 1.3           | 1.4 | 1.6 | .4        | 1.0 | 3.3 | 26          | 34  | 40  | 22        | 25  | 49  | 20            | 37  | 42  | 9894             | 5486   | LIGNITO A,B,C<br>SUB-BITUMINOSO<br>A,B,C<br>NO COQUIZABLE |
| 2<br>Y<br>3 |               |     |     | 2         | 3   | 4   | 30          | 36  | 41  | 18        | 27  | 46  | 22            | 31  | 37  | 9908             | 5496   | SUB-BITUMINOSO<br>A,B,C<br>NO COQUIZABLE                  |
| 4           | 1.4           | 1.4 | 1.6 | .3        | .8  | 1.1 | 29          | 34  | 36  | 21        | 26  | 41  | 37            | 39  | 43  | 10040            | 5337   | SUB-BITUMINOSO<br>A,B,C<br>NO COQUIZABLE                  |

ESTA TABLA ES EL PRODUCTO DE LOS DATOS OBTENIDOS DE 90 ANALISIS PRACTICADOS POR LOS LABORATORIOS DE C.F.E., DE ASARCO MEXICANA Y DEL LABORATORIO DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA DE V. CARRANZA EN NAVA, COAHUILA.



## DESCRIPCION.

| NOMENCLATURA                         | EQUIPO                              | CAPACIDAD       |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| BC-1                                 | banda transportadora                | 1 500 T/h       |
| BC-2, BC-3, BC-4                     | " "                                 | 1 000 T/h       |
| BC-5A, BC-5B hasta<br>BC-16A, BC-16B | " "                                 | 500 T/h         |
| A-1                                  | tolva de transferencia              |                 |
| A-1A                                 | alimentador                         |                 |
| A-2                                  | tolva subterránea                   |                 |
| A-2A                                 | alimentador                         |                 |
| A-3                                  | tolva de alimentación de<br>molinos |                 |
| A-4                                  | banda pesadora                      |                 |
| A-5                                  | apilador-recogedor                  | 1500 - 1000 T/h |
| A-6                                  | equipo móvil                        |                 |
| A-7                                  | pila activa                         | 90 000 Ton.     |
| A-8                                  | pila muerta                         | 450 000 Ton.    |
| A-9                                  | sistema de cribado doble            |                 |
| SM-1 a SM-5                          | separador magnético                 |                 |
| M-1, M-2                             | muestreador automático              |                 |
| DM-1, DM-2                           | detector de metales                 |                 |
| B-1, B-2                             | alimentador                         |                 |

| NOMENCLATURA   | EQUIPO                  | CAPACIDAD  |
|----------------|-------------------------|------------|
| B-3 , B-4      | molinos                 | 1 000 T/h  |
| B-5            | canalón de distribución |            |
| B-6            | Silo amortiguador       |            |
| C-1, C-2,      |                         |            |
| C-3, C-4       | alimentador             |            |
| i-A, i-B,..... |                         |            |
| .....          |                         |            |
| 4-A, 4-B, ...  | silos                   | 577.5 Ton. |
| D              | vibrador                |            |

## OBSERVACIONES.

1. - El carbón se recibirá de las minas por medio de tres bandas transportadoras.
2. - El apilador-recogedor deberá almacenar y alimentar carbón al sistema al mismo tiempo.
3. - Los separadores magnéticos deberán tener una tolva para depósito de materiales y canalón de descarga.
4. - En la estación de molienda se deberá tener un sistema de doble cribado: para reducir la carga a los molinos y evitar el paso a material extraño arriba de 5" y que el carbón con tamaño de 1 1/4" o menor pase al sistema de bandas sin pasar por los molinos.
5. - Los detectores de metales deberán accionar sin parar el sistema.
6. - Los molinos controlarán una granulometría de 1 1/4" o menos.
7. - El sistema de muestreo será de dos pasos.

## VI. CONCLUSIONES.

Es evidente que las condiciones actuales justifican la utilización - - máxima de un equipo bien diseñado, robusto y confiable para el manejo y - preparación del carbón para una planta termoeléctrica.

Muchos son los factores que afectan la selección de un sistema - - bien balanceado que incluya:

- a). - Los medios actuales de recepción del carbón y las posibilida - des de recibirlo por otros medios.
- b). - Un amplio terreno de almacenado con medios flexibles de api - lado y recuperación.
- c). - Provisiones para un incremento fácil en la capacidad del sis - tema de manejo de carbón para dar servicio a las futuras am - pliaciones de la planta.
- d). - Tamaño y ubicación de la planta, y desde luego.
- e). - El tipo de carbón usado.

El sistema de manejo de carbón puede incorporar una planta tritu - radora para una mayor preparación y control del carbón. Es conveniente - que el sistema de manejo de carbón entregue éste a los silos por medio - de bandas transportadoras. En los casos que los requisitos de capacidad - lo permitan, se puede incluir transportadores de arrastre, tornillo sin -- fin u otros tipos.

El término silo como se usa aquí, significa depósitos de almacena - do cilíndricos con un alimentador. La carbonera significa un depósito lar -

go con varios alimentadores. En general, las carboneras proporcionan un almacenamiento más grande. La ventaja de los silos es que pueden aislar se en caso de incendio del pulverizador o del carbón que se quema. El so porte estructural para las carboneras es más sustancial que los silos y - puede dar problemas especialmente en áreas sísmicas. El llenado de las carboneras puede ser más simple y el equipo para los silos más comple - jo.

En todas las áreas que se maneja, almacena y utiliza carbón se - debe recordar que ésta es una sustancia tremendamente negra y que la ca lidad del buen orden y limpieza se hacen aparentes de inmediato. La reco lección del polvo y del control de éste es una consideración primaria que debe incorporarse al sistema de manejo de carbón.

Siempre que se almacene carbón, se debe considerar el peligro - de carbón fresco que emita metano o etano y el espacio libre se debe ven tilar para evitar la acumulación de mezclas explosivas.

En el capítulo V SELECCION DEL EQUIPO MAS ADECUADO, se muestra el anteproyecto de la Planta Termoeléctrica Rio Escondido, no - sin antes mencionar que aún se encuentra en estudios, pero es de acep - tarse.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

COAL, COKE, AND COAL CHEMICALS  
WILSON AND WELLS  
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.  
1950

1973 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS VOL. XIX  
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

GEOQUIMICA  
KALERVO RANKAMA Y T. H. G. SAHAMA  
AGUILAR S. A. DE EDICIONES  
1954

ELEMENTS OF ORE DRESSING  
ARTHUR F. TAGGART  
JOHN WILWY SONS, INC.  
NEW YORK, LONDON, SIDNEY  
1964

INGENIERIA METALURGICA TOMO 1  
REINHARDT SCHUMANN, JR.  
COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A.  
1968

OPERACIONES BASICAS DE LA INGENIERIA QUIMICA  
GEORGE GRANGER BROWN  
EDITORIAL MARIN, S. A.  
1965

DICCIONARIO ENCICLOPEDICO HISPANO AMERICANO TOMOS -  
II, IV, XI, XII, XXII.  
MONTANER Y SIMON  
BARCELONA

W. M. JACKSON, INC.  
NUEVA YORK

STEAM-PLANT OPERATION  
EVERETT B. WOODRUFF AND HERBERT B. LAMMERS  
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.  
1977

CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK  
PERRY AND CHILTON  
Mc-GRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.  
1963

SIDERURGIA  
F. ARANGUREN Y A. MALLOL  
EDITORIAL DOSSAT S.A.  
MADRID 1963

REVISTA "POWER"  
FEBRERO 1974  
MARZO 1974

COAL HANDLING FACILITIES.  
J.L. VICORY  
BECHTEL CORPORATION  
POWER INDUSTRIAL DIVISION  
LECTURA

COAL AND ASH HANDLING  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
MEXICO  
BECHTEL OVERSEAS CORPORATION  
SEPTIEMBRE 10 1976  
CONFERENCIA # 9