



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**"INVESTIGACIÓN MINERALÚRGICA DEL CARBÓN MINERAL
PARA BRIQUETAS DE USO DOMESTICO"**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentada por:

JORGE ABEL CAZORLA CAICEDO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2006

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

A mis padres, hermanos y familia;

Y para todos aquéllos que piensan que

“El futuro pertenece a aquéllos que

creen en la belleza de sus sueños, y no

hay límite en lo que un hombre puede

alcanzar en la medida que no le

importe quién asuma el crédito para de

esta manera mejorar el mundo.

AGRADECIMIENTOS

Al final de la jornada, cuando recogemos los resultados del trabajo, vale la pena revisar cuanto se ha avanzado y reconocer que nada se hubiera conseguido sin la ayuda de quienes estuvieron ahí, para alguna manera auxiliarnos. Expreso entonces, mi más sincero agradecimiento:

A Dios porque sé que puedo acudir a Él en cualquier momento y por orientar mi vida en situaciones difíciles.

Ing. Jorge Velasco Valarezo por su orientación y apoyo incondicional más que un orientador un excelente amigo.

Dr. Paúl Carrión por su ayuda y motivación.

Dr. Fernando Morante y Dra. Elizabeth Peña por su ayuda y confianza

Ing. Ana Morales, Ing. María Díaz, Soraya Montesdeoca y Juan Carlos Pindo gracias por su ayuda y constante motivación.

Sr. Julio García por su ayuda en el área de laboratorio de suelo.

A mi familia por su constante motivación, amor y apoyo incondicional.

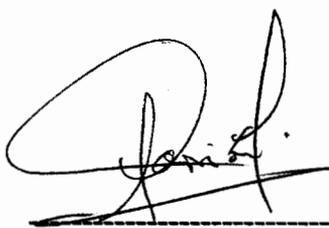
Este trabajo se tornó posible por la gran ayuda incondicional del CETEM y a los becarios de Minas, pues sin su ayuda no hubiese sido posible superar algunas limitaciones de orden técnicos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.

Ing. Ricardo Gallegos O.
DECANO DE LA FICT



Ing. Jorge Velasco V.
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Paúl Carrión M.
Vocal



Dr. Fernando Morante.
Vocal

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente ; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL “

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Jorge Abel Cazorla Caicedo

RESÚMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la "Investigación Mineralúrgica del Carbón Mineral para elaborar Briquetas de uso doméstico", a fin de encontrar una alternativa de sustitución del gas licuado cuyo precio sin subsidio impactará la economía de las familias de bajos recursos económicos del país.

Se propone utilizar una tecnología simple económicamente viable y ambientalmente sustentable que permita mejorar la calidad del carbón mineral existente en los yacimientos del país con el objeto de utilizarlos en un futuro como combustibles para las cocinas caseras de los sectores marginales del país.

Los resultados de la caracterización del carbón mineral señalan dos ejes de mejoramiento: el contenido de cenizas y volátiles.- La composición del primero comprende la presencia de cuarzo, yeso, marcasita, azufre, arcillas principalmente caolinita, illita y monmorillonita. En el caso de los volátiles se encuentra el nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. El estudio determina los tipos de carbones que tiene el país así como el mejoramiento de la calidad, para su amplio aprovechamiento de estos.

La definición tecnológica de mejoramiento en la calidad del producto parte de una molienda, clasificación y lavado, cuyos parámetros más óptimos es la reducción de tamaño entre -1mm y $+750\mu$, clasificación granulométrica con tromel, concentración gravimétrica con jig y un lavado en medio básico. El estudio contempla una segunda etapa de mejoramiento térmico para obtener un producto más limpio que no produzca humo.

ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	IX
CAPITULO 1	
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Antecedentes.....	1
1.2.- Justificación.....	4
1.3.- Hipótesis de Trabajo.....	5
1.4.- Objetivos.....	5
CAPITULO 2	
II. BASE TEÓRICA.....	8
2.1.- El Carbono.....	8
2.2.- El origen del Carbón Mineral.....	9
2.3.- Clasificación Carbón Mineral.....	11
2.4.- Tecnología del Carbón Mineral.....	12
2.4.1.- La industria del Carbón Mineral.....	12
2.4.2.- Usos y aplicaciones Industriales	14
2.4.2.1.- Usos directos sin tratamiento del Carbón Mineral.....	16

2.4.2.2.- Usos directos con tratamiento del Carbón Mineral.....	17
2.4.2.3.- Usos indirectos del Carbón Mineral.....	17
2.4.2.4.- Usos actuales del Carbón Mineral.....	18
2.4.2.5.- Usos especializados no tradicionales del Carbón Mineral.....	18

CAPITULO 3

III. METODOLOGÍA.....	20
3.1.- Recopilación y análisis de la información.....	20
3.2.- Ubicación de los yacimientos y muestreo de los principales afloramientos.....	20
3.3.- Preparación de las muestras de carbón mineral.....	21
3.4.- Caracterización de las muestras de carbón mineral.....	23
3.5.- Tratamiento mineralúrgico del carbón mineral.....	57
3.6.- Análisis de laboratorio.....	65
3.7.- Análisis de los resultados y las conclusiones.....	66

CAPITULO 4

IV. POTENCIAL CARBONÍFERO DEL ECUADOR	68
4.1.- Estudios de exploración geológica – minera.....	69
4.2.- Sectores prospectivos del Ecuador.....	72
4.3.- Ubicación de los sitios de muestreo.....	74
4.4.- Características de los carbones del país.....	75

CAPITULO 5

V. CARACTERIZACIÓN: Análisis Granulométrico, Físico, Químico y Mineralógico del carbón mineral.....	77
5.1.- Análisis Granulométrico del carbón mineral.....	78
5.2.- Análisis Físico del carbón mineral.....	85
5.3.- Análisis Químico del carbón mineral.....	86
5.3.1.- Análisis Inmediato del carbón mineral.....	86
5.3.2.- Análisis Elemental del carbón mineral.....	87
5.3.3.- Poder Calorífico del carbón mineral.....	88
5.4.- Análisis Mineralógico del carbón mineral.....	89
5.4.1.- Difractometría de Rayos X.....	89
5.4.2.- Análisis Petrográfico.....	95

CAPITULO 6

VI. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL CARBÓN MINERAL...	96
6.1.- Análisis Granulométrico.....	97
6.2.- Análisis Físicos del carbón mineral.....	125
6.3.- Análisis Químico del carbón mineral.....	126
6.3.1.- Análisis Inmediato del carbón mineral.....	126
6.3.2.- Análisis Elemental del carbón mineral.....	130
6.3.3.- Poder Calorífico del carbón mineral.....	131
6.4.- Resultados de la eliminación de cenizas del carbón mineral con tratamiento y sin tratamiento.....	132

CAPITULO 7

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
7.1.- Conclusiones.....	134
7.2.- Recomendación.....	134

CAPITULO 8

VII.- APÉNDICES.....	136
8.1.- Apéndices de fotografía.....	137

CAPITULO 9

IX.- BIBLIOGRAFÍA.....	143
-------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características de tamices utilizados.....	24
Tabla 3.2. Cuadro del proceso y tiempo de lavado del carbón mineral.....	58.
Tabla 4.1. Ubicación de los muestreos para este trabajo	75
Tabla 4.2. Ubicación de los muestreos para este trabajo	76
Tabla 5.1. Análisis representativo de tamices CM-01.....	78
Tabla 5.2. Análisis representativo de tamices CM-02.....	79
Tabla 5.3. Análisis representativo de tamices CM-03.....	80
Tabla 5.4. Análisis representativo de tamices CM-04.....	81
Tabla 5.5. Análisis representativo de tamices CM-05.....	82
Tabla 5.6. Análisis representativo de tamices CM-06.....	83
Tabla 5.7. Análisis representativo de tamices CM-07.....	84
Tabla 5.8. Resultados de los análisis físicos del carbón mineral.....	85
Tabla 5.9. Resultados de los análisis inmediatos del carbón mineral.....	86

Tabla 5.10. Resultados de porcentajes de los análisis elementales de las muestras de carbón.....	87
Tabla 5.11. Resultados del poder calorífico del carbón mineral.....	88
Tabla 6.1. Análisis representativo de tamices CM-01-HCl.....	97
Tabla 6.2. Análisis representativo de tamices CM-02-HCl.....	98
Tabla 6.3. Análisis representativo de tamices CM-03-HCl.....	99
Tabla 6.4. Análisis representativo de tamices CM-04-HCl.....	100
Tabla 6.5. Análisis representativo de tamices CM-05-HCl.....	101
Tabla 6.6. Análisis representativo de tamices CM-06-HCl.....	102
Tabla 6.7. Análisis representativo de tamices CM-07-HCl.....	103
Tabla 6.8. Análisis representativo de tamices CM-01- SO ₄ H ₂	104
Tabla 6.9. Análisis representativo de tamices CM-02- SO ₄ H ₂	105
Tabla 6.10. Análisis representativo de tamices CM-03- SO ₄ H ₂	106
Tabla 6.11. Análisis representativo de tamices CM-04- SO ₄ H ₂	107
Tabla 6.12. Análisis representativo de tamices CM-05- SO ₄ H ₂	108

Tabla 6.13.	Análisis representativo de tamices CM-06- SO₄H₂.....	109
Tabla 6.14.	Análisis representativo de tamices CM-07- SO₄H₂.....	110
Tabla 6.15.	Análisis representativo de tamices CM-01- Na(OH)	111
Tabla 6.16.	Análisis representativo de tamices CM-02- Na(OH)	112
Tabla 6.17.	Análisis representativo de tamices CM-03- Na(OH)	113
Tabla 6.18.	Análisis representativo de tamices CM-04- Na(OH)	114
Tabla 6.19.	Análisis representativo de tamices CM-05- Na(OH)	115
Tabla 6.20.	Análisis representativo de tamices CM-06- Na(OH)	116
Tabla 6.21.	Análisis representativo de tamices CM-07- Na(OH)	117
Tabla 6.22.	Análisis representativo de tamices CM-01- H₂O.....	118
Tabla 6.23.	Análisis representativo de tamices CM-02- H₂O.....	119
Tabla 6.24.	Análisis representativo de tamices CM-03- H₂O.....	120
Tabla 6.25.	Análisis representativo de tamices CM-04- H₂O.....	121
Tabla 6.26.	Análisis representativo de tamices CM-05- H₂O.....	122
Tabla 6.27.	Análisis representativo de tamices CM-06- H₂O.....	123

Tabla 6.28. Análisis representativo de tamices CM-07- H₂O..... 124

Tabla 6.29. Colores del carbón mineral tratada mineralúrgicamente.....125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.3.1. Diagrama Metodológico de la Investigación del carbón	67
Figura 4.1. Mapa de Indicios de Carbón en el Ecuador.....	71
Figura 4.2. Mapa de depósitos de carbón en el Ecuador	72
Figura 4.3. Mapa de Sectores Prospectivos del Ecuador.....	73
Figura 5.1. Distribución de tamaños de la muestras CM-01.....	78
Figura 5.2. Distribución de tamaños de la muestras CM-02.....	79
Figura 5.3. Distribución de tamaños de la muestras CM-03.....	80
Figura 5.4. Distribución de tamaños de la muestras CM-04.....	81
Figura 5.5. Distribución de tamaños de la muestras CM-05.....	82
Figura 5.6. Distribución de tamaños de la muestras CM-06	83
Figura 5.7. Distribución de tamaños de las demuestras CM-07.....	84
Figura. 5.8. Presencia de materia mineral en la muestra CM-01.....	89
Figura. 5.9. Presencia de materia mineral en la muestra CM-02.....	90
Figura. 5.10. Presencia de materia mineral en la muestra CM-03.....	91

Figura. 5.11. Presencia de materia mineral en la muestra CM-04.....	92
Figura. 5.12. Presencia de materia mineral en la muestra CM-05.....	93
Figura. 5.13. Presencia de materia mineral en la muestra CM-06.....	94
Figura 6.1. Distribución de tamaños de la muestras CM-01-HCl.....	97
Figura 6.2. Distribución de tamaños de la muestras CM-02-HCl.....	98
Figura 6.3. Distribución de tamaños de la muestras CM-03-HCl.....	99
Figura 6.4. Distribución de tamaños de la muestras CM-04-HCl.....	100
Figura 6.5 Distribución de tamaños de la muestras CM-05- HCl	101
Figura 6.6. Distribución de tamaños de la muestras CM-06-HCl.....	102
Figura 6.7. Distribución de tamaños de la muestras CM-07-HCl.....	103
Figura 6.8 Distribución de tamaños de la muestras CM-01 SO_4H_2	104
Figura 6.9. Distribución de tamaños de la muestras CM-02 SO_4H_2	105
Figura 6.10. Distribución de tamaños de la muestras CM-03- SO_4H_2	106
Figura 6.11. Distribución de tamaños de la muestras CM-04 SO_4H_2	107

- Figura 6.12.** Distribución de tamaños de la muestras CM-05 SO_4H_2 ... 108
- Figura 6.13.** Distribución de tamaños de la muestras CM-06 SO_4H_2 109
- Figura 6.14.** Distribución de tamaños de la muestras CM-07 SO_4H_2 110
- Figura 6.15.** Distribución de tamaños de la muestras CM-01- $\text{Na}(\text{OH})$111
- Figura 6.16.** Distribución de tamaños de la muestras CM-02- $\text{Na}(\text{OH})$. 112
- Figura 6.17.** Distribución de tamaños de la muestras CM-03- $\text{Na}(\text{OH})$. 113
- Figura 6.18.** Distribución de tamaños de la muestras CM-04- $\text{Na}(\text{OH})$ 114
- Figura 6.19.** Distribución de tamaños de la muestras CM-05- $\text{Na}(\text{OH})$...115
- Figura 6.20.** Distribución de tamaños de la muestras CM-06- $\text{Na}(\text{OH})$...116
- Figura 6.21.** Distribución de tamaños de la muestras CM-07- $\text{Na}(\text{OH})$ 117
- Figura 6.22.** Distribución de tamaños de la muestras CM-01- H_2O 118
- Figura 6.23.** Distribución de tamaños de la muestras CM-02- H_2O119
- Figura 6.24.** Distribución de tamaños de la muestras CM-03- H_2O120
- Figura 6.25.** Distribución de tamaños de la muestras CM-04- H_2O 121
- Figura 6.26.** Distribución de tamaños de la muestras CM-05- H_2O122

Figura 6.27. Distribución de tamaños de la muestras CM-06- H₂O.....123

Figura 6.28. Distribución de tamaños de la muestras CM-07- H₂O..... 124

Figura 6.29. Propuesta del proceso mineralúrgico del carbón Mineral.....125

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto.1. Afloramiento Baños-Puyo.....	137
Foto.2. Afloramiento vía Jondachi.....	137
Foto.3 Afloramiento unión de los ríos.....	137
Foto.4 Afloramiento unión de los ríos Hollín Grande y Chico (Napo).....	137
Foto.5. Manto de carbón mineral- Loja.....	137
Foto 6. Afloramiento Malacatos-Merced.....	137
Foto.7. Panorámica Cojitambo-Cañar.....	138
Foto.8. Cantera Jondachi.....	138
Foto.9. Escombros cantera Jondachi.....	138
Foto.10. Panorámica cascada río Chico-Napo.....	138
Foto. 11. Muestra de Carbón Mineral.	138
Foto.12. Equipo de cuarteo.....	138
Foto.13. Cuarteo de muestras.....	139
Foto.15. Trituración de muestras	139

Foto.16. Equipo de molienda.....	139
Foto.17. Molino de Rodillo.....	139
Foto.18. Equipo de tamizado "RO TAP"	139
Foto.19. Carga de muestra al Rotap.....	140
Foto.20. Tamizado de muestras.....	140
Foto.21. Clasificación de muestras.....	140
Foto.22. Balanza A.VANDONI.....	140
Foto.23. Pesado de las muestras.....	140
Foto.24. Equipo microcortadora.....	140
Foto.25. Equipo cortador.....	141
Foto.26. Equipo de seguridad.....	141
Foto.27. Equipo de pulido (petrográfico)	141
Foto.28. Reactivos.....	141
Foto.30. Equipo de pulido.....	141

Foto.31. Antracita.....	142
Foto.32. Carbón Sub-bituminoso.....	142
Foto.33. Carbón Bituminoso.....	142
Foto.34. Briqueta de Carbón Mineral.....	142
Foto.35. Tipos de Carbón Mineral.	142

CAPITULO I.

I.- INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN.**1.1. Antecedentes**

La creciente demanda de gas doméstico de la población ubicada en el sector urbano y rural, afecta el presupuesto estatal al aumentar el monto del subsidio. Además el encarecimiento del producto por el costo del transporte y deficiente comercialización, genera un impacto económico en los sectores urbano marginales y rurales incentivando el uso de la leña como combustible de uso doméstico, propiciando más deforestación y afectando al medio ambiente; estos factores son las manifestaciones de un problema socio económico que el país no puede soslayar y que debe enfrentar.

Cuando no prevenimos a tiempo, la toma de una medida como la eliminación del subsidio al gas, ésta tendrá un efecto mayor provocando un impacto negativo en la población de menor ingreso que requiere de éste producto para cubrir las necesidades energéticas en la preparación de los alimentos, con el agravante de no tener una alternativa que permita paliar dicha medida.

Está claro que resulta utópico a corto plazo sustituir el gas de uso doméstico por otros productos, las ventajas comparativas del precio, por el subsidio, con otras fuentes energéticas sólidos o líquidos, así parecen confirmarlo. Sin embargo una política energética debe contemplar la utilización racional de los recursos que en éste campo tiene el Ecuador, y que debe empezar por promover, incentivar y desarrollar proyectos que apunten a la diversificación y el ahorro energético.

Dentro de éste marco se propone el estudio e investigación de los carbones existentes en el país para valorar una fuente energética alternativa que sea sustentable, eficiente y que permita disminuir el consumo de gas y leña.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) hace dos décadas realizó a través del departamento de geología y minas estudios iniciales de caracterización y usos del carbón mineral los mismos que han servido como base para continuar con el presente proyecto, el cual fue ganador en la convocatoria de Proyectos Semillas 2003 y gracias al apoyo y colaboración del Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se pudo ejecutar dicho proyecto.

1.2. Justificación

Como es conocido en nuestro país no existe un aprovechamiento del carbón mineral como fuente energética y solo se puede hablar de pequeñas explotaciones marginales y artesanales, de mineros inmersos en la fabricación de ladrillos, que utilizan el carbón mineral como fuente de calor para dicha actividad.

Fomentar la diversificación energética, el ahorro y el aprovechamiento de la materia prima mineral deben ser las consideraciones fundamentales de la política estatal. Con la presente premisa podemos relevar la importancia del estudio.

El desarrollo energético requiere explorar otras fuentes y para eso es necesario partir de un plan que contemple no solo la explotación de los recursos sino además investigue sus propiedades y la necesidad de mejorar la calidad del producto y su uso intensivo de manera sustentable.

1.3. Hipótesis de Trabajo

La investigación se ha desarrollado bajo el supuesto que el mejoramiento de los carbones existentes en el país es posible y que está basado en la eliminación de las cenizas mediante molienda, clasificación y lavado del carbón mineral así como de los volátiles en base a un tratamiento térmico de pirolisis.

Como segunda hipótesis tenemos que las briquetas de carbón para uso domestico ayudarán a mitigar el impacto económico que tendrían la población sobre todo rural y marginal de las ciudades, en caso de que el precio del gas no cuente con el subsidio estatal.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Investigar las características Mineralúrgicas para el mejoramiento del carbón mineral y su posible utilización como briquetas de uso domésticos.

1.4.2. Específico

1. Ubicar y muestrear los yacimientos de carbón mineral existentes en el país.
2. Caracterizar los carbones mediante análisis físicos, químicos petrográfico mineralógico y mecánico.
3. Definir el proceso tecnológico de mejoramiento físico de los carbones.

1.4.3. Futuro

1. Investigar el proceso térmico de mejoramiento del carbón mineral.
2. Cuantificar el reemplazo parcial del gas de uso domestico, por las briquetas de carbón mineral la cual produce el mismo rendimiento a un menor costo.
3. Promover el uso del carbón mineral a fin de diversificar el consumo energético, incentivando el uso de las briquetas en los sectores rurales y urbanos marginales.

CAPITULO II.

II. BASE TEORICA

II. BASE TEORICA.

En este capítulo se exponen los elementos y procesos que intervienen en la génesis del carbón mineral y los estudios realizados para explicar su clasificación y poder calorífico que poseen, así como la tecnología del carbón mineral y sus usos.

2.1.- El Carbono:

El carbono, se halla en la naturaleza como elemento simple, presentando estados alotrópicos distintos.

- 1.- El carbono puro y cristalizado constituye el diamante y el grafito
- 2.- El carbono impuro y amorfo constituye el carbón mineral.

El carbono se combina fácilmente con el oxígeno produciendo bastante calor; por ello se dice que es el combustible por excelencia, también forma con el oxígeno el monóxido y el dióxido de carbono [9].

2.2.- El Origen del Carbón Mineral

Es un combustible sólido de origen vegetal [8], en el que intervinieron en su formación procesos de descomposición de los vegetales.

Dichos procesos dan lugar a formaciones de:

- Combinaciones hidrogenadas, oxigenadas, nitrogenadas, sulfuradas.

Para que surja el carbón a partir de la celulosa y que no se descomponga en:

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ es necesario:

1. Un ecosistema con mucha vegetación.
2. Que el ecosistema tenga un rápido crecimiento para que el intercambio de biomasa sea elevado.
3. Que los restos vegetales se acumulen con el oxígeno.
4. Que los restos vegetales inicien una fermentación anaeróbica.
5. Que los materiales acumulados se cubran de sedimentos para evitar su degradación.

El conjunto de sedimentos y restos orgánicos tienen que pasar un proceso de subsidencia que permita su compactación. Los árboles, helechos arborescentes, etc., envejecieron y murieron en los grandes pantanos, se

fueron enterrado y recubriendo de lodo o arena. Los cataclismos hundieron las extensas regiones antes boscosas y estas fueron invadidas por las aguas de los océanos, pasaron millones de años, las aguas se retiraron de muchas zonas y todo aquel mundo vegetal se fue carbonizando, es decir, perdieron su oxígeno y su hidrógeno, y concentrando a cambio su carbono.

El proceso de transformación físico - químico [3] de los residuos vegetales acumulados, comprenden varias etapas a saber:

- a.- **Desintegración.-** Primera alteración en presencia del oxígeno y la humedad, se forman lentamente las sustancias volátiles.
- b.- **Descomposición.-** Disgregación incompleta con menos cantidad de oxígeno. Comienza la desintegración parcial de la materia orgánica, quedando como residuo una pequeña proporción de carbono fijo.
- c.- **Turbificación.-** Se inicia con la formación de humus en el ambiente de agua estancada, el que admite reducida cantidad de oxígeno del aire para la transformación que se opera. Mientras que en la superficie continua el crecimiento natural de las plantas y sus restos, que se depositan ininterrumpidamente en el receptáculo de acumulación, subsidencia,

suministran oxígeno que intervienen en este momento del proceso en muy escasa proporción.

d.- Putrefacción.- En esta última etapa, la transformación se desarrolla plenamente en medio del agua de la cuenca con ausencia absoluta del oxígeno del aire. Empieza a fluir el metano y otros gases como si se tratara de una destilación natural y aumenta la concentración del carbono.

Las etapas de turbificación y putrefacción son las más importantes, porque bajo condiciones tales, grandes cantidades de materia orgánicas quedan preservadas para su transformación definitiva en depósitos de carbón mineral. Los carbones naturales también se llaman, por eso, carbones minerales o carbones fósiles.

2.3.- CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN MINERAL

Según su antigüedad geológica [3] y su grado de carbonización, se distinguen en cuatro tipos de carbón mineral:

- **Turba:** Es la primera etapa en la formación del carbón, tiene un bajo contenido de carbono fijo y un alto índice de humedad.
- **Lignito:** Es carbón de baja calidad, tiene un contenido de carbono mayor.
- **Carbón Bituminoso:** Tiene un contenido alto de carbón y un poder calorífico mayor.
- **Antracita:** Es el carbón con contenido de carbono mas alto y el máximo poder calorífico. La presión y la temperatura lo pueden transformar en grafito que es carbono puro.

Cuanto más reciente son los carbones minerales, tanto menos rico son en carbono y por consiguiente tienen menor poder calorífico.

2.4.- TECNOLOGÍA DEL CARBÓN MINERAL.

2.4.1.- LA INDUSTRIA DEL CARBÓN MINERAL.

La industria del carbón y de cualquier recurso mineral depende directamente de las reservas económicamente explotables de los yacimientos. El Ecuador dispone de algunos yacimientos de carbón

mineral, que debería de aprovecharlos tomando en consideración las condiciones técnicas, económicas y ambientales, fomentando el consumo de nueva fuente de energía en los diversos sectores del país.

Sin embargo en el Ecuador no se han realizado trabajos considerables a lo que se refiere a la exploración y extracción del carbón, razón por la cual no incide en la actividad económica del país. En la década de 1980, algunos gobiernos emprendieron programas de colaboración con la industria privada para fomentar el desarrollo de las tecnologías limpias de carbón más prometedoras, como los métodos mejorados para limpiar el carbón, la combustión en lecho fluido, la inyección de solventes de horno y la desulfuración avanzada de gases de combustión.

Las tecnologías limpias de carbón es una nueva generación de procesos avanzados para su utilización, algunas pueden ser desde un punto de vista comercial, viables a principios del siglo XXI. En general, estas tecnologías son más limpias y eficientes y menos costosas que los procesos convencionales. Hay muchas tecnologías

limpias, pero la mayoría alteran la estructura básica del carbón antes de la combustión, durante la misma o después de ella. Con ello reducen las emisiones de impurezas como azufre y óxido de nitrógeno y aumentan la eficiencia de la producción energética.

2.4.2. USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES.

Los usos del carbón mineral [7] son los siguientes:

1. Es el combustible fósil más abundante de la corteza terrestre, con ocurrencia en todos los continentes, de uso variado y flexible, es el combustible disponible para la sustitución del petróleo. Puede formar una extensa variedad de derivados, muchos de ellos sustitutos, de derivados del petróleo.
2. Los procesos de sustitución, en la industria del petróleo, y sus derivados por el carbón son relativamente fáciles, de rápida implantación, de inversiones reducidas, descartan movimientos drásticos en la operación, presentan resultados positivos en costos

de operación en la mayoría de los casos sin afectar los productos finales.

3. El desarrollo tecnológico referido a los procesos de minería sugiere un mejor rendimiento en la producción, menores riesgos de accidentes y menor utilización de mano de obra y que pueda resultar en costos adecuados en los diversos usos del carbón.
4. Los procesos y tecnología desarrolladas para el aprovechamiento racional y económicos de los subproductos y de rechazos aumenta las posibilidades de producción de carbones de alto contenido de cenizas, azufre, desarrollando industrias rentables referidas a los subproductos.
5. Las escorias y cenizas constituyen una fuente de materia prima para las industrias diversas como por ejemplo las construcciones civiles, así como el azufre para la producción de ácido sulfúrico.
6. El carbón para el uso domestico sirve en la producción de gas; de briquetas para calefacción y cocción de los alimentos.

2.4.2.1.- USO DIRECTO SIN TRATAMIENTO DEL CARBÓN MINERAL

Uso directo del carbón mineral [3] como combustible; sin que sea necesaria un tratamiento previo (preparación, lavado ó depuración del carbón), no importando que tenga azufre, cenizas en porcentajes altos, o bajos contenidos de carbón fijo. Se puede utilizar el proceso de reactor de lecho fluidizado, que permite una combustión limpia, no contaminante y que sirva para reemplazar las antiguas plantas termoeléctricas con carbones lavados. También se emplea en la producción de vapor.

Otras tecnologías en el uso directo del carbón y en plantas termoeléctricas convencionales son las referidas: a) Al tratamiento y purificación de los efluentes gaseosos de emisión y b) La refrigeración en seco. La primera para remover los polvos en suspensión y los anhídridos sulfurosos y nitrosos, la segunda para sustituir el uso del agua en los lugares que no estuviera disponible.

2.4.2.2.- USOS DIRECTOS CON TRATAMIENTO DEL CARBÓN MINERAL

Uso directo del carbón [3] como combustible, con procesos simples de preparación previos y/o complementarios, se puede citar:

Briqueteado de carbón: Requiere ser sometido al proceso de preparación previo (también llamado de lavado o de depuración), para reducir impurezas. Luego la eliminación de volátiles y formación de porosidad cuando la briqueta haya sido lograda, ya en frío o en caliente. Se la utiliza directamente como combustible domestico e industrial. El carbón briqueteado está sustituyendo al gas natural, madera, leña, petróleo en hogares y fábricas.

2.4.2.3.- USOS INDIRECTOS DEL CARBÓN MINERAL

Uso indirecto del carbón [3] para obtener combustibles limpios sustituyendo los hidrocarburos o sus derivados.

Las tecnologías involucradas, llamadas de conversión de carbones (gasificación, licuefacción, hidrogenación, síntesis). El costo de inversión es muy alto pero el costo de producción del barril de petróleo sintético o galón de gasolina ya es competitivo con los hidrocarburos naturales o derivados, aunque no produce rentabilidad.

2.4.2.4.- USOS ACTUALES DEL CARBON MINERAL

1. Termo electricidad; combustión directa;
2. Producción de vapor industrial
3. Gasificación, uso industrial y doméstico
4. Industria de productos químicos
5. Metanol

2.4.2.5.- USOS ESPECIALIZADOS NO TRADICIONALES

1. Reductores gaseosos para siderurgia
2. Licuefacción directa metanol, y cogeneración
3. Mezcla de carbón y aceite

CAPITULO 3.
III. METODOLOGÍA

III. METODOLOGÍA

3.1.- Recopilación y análisis de la información.

Esta actividad se desarrolla mediante la investigación de la literatura acorde al tema del carbón mineral y su aplicación como briquetas de uso doméstico, así como la información que se obtuvo de los mapas geológicos y topográficos de las zonas con potencial carbonífero.

3.2.- Ubicación de los yacimientos y muestreo de los principales afloramientos.

Con la guía de estudios anteriores y mediante recorridos de campo se verificaron los principales yacimientos de carbón mineral, que fueron ubicados con un poseionador geográfico (GPS) utilizando coordenadas UTM, datum PSAD' 56 y las respectivas hojas topográficas de acuerdo al sector de exploración.

ESCALA	PROVINCIA	No. HOLA GEOLOGICA
1 : 100.000		
	CAÑAR	72 CAÑAR
	CAÑAR	73 AZOGUES
	AZUAY	53 CUENCA
	LOJA	56 LOJA
	NAPO	101 TENA
	PASTAZA	103 PUYO
1 : 50.000		
	CAÑAR	AZOGUEZ (NW)
1 : 25.000		
	Mapa de compilación geológica de la prov. de Pastaza	
	Mapa de compilación geológica de la prov. de Napo	
1 : 1'000.000		
	Mapa geológico del Ecuador BGS	

Tabla 3.1. Mapas utilizados para el muestreo del carbón mineral.

Los afloramientos de los mantos de carbón de los yacimientos se muestrearon empleando el método de ranurado continuo, mediante un canal estrecho y continuo ya sea horizontal o vertical, perpendicular al rumbo de la mineralización, con las siguientes medidas: 10cm de profundidad; 10cm de

ancho. Aproximadamente por cada muestra se tomaron 10kg, obteniéndose un total de 70kg de carbón de las siete muestras, dichas muestras servirán para determinar si son o no aptas para la elaboración de la briquetas de domestico.

3.3.- Preparación de las muestras de carbón mineral.

Las muestras de carbón mineral, fueron secadas en una estufa a temperaturas de 30 °C. a 40 °C.

Utilizando la balanza "A. VANDONI" Tipo "B", se obtuvo el peso bruto de la muestras (70kg estéril y mineral), para conocer la cantidad de material disponible para la investigación.

La clasificación manual se realizó mediante un proceso de selección visual, con el objeto de separar la fracción mineral del estéril, las mismas que posteriormente fueron pesadas. La fracción estéril se almacenó para un futuro estudio petrográfico.

La fracción mineral de cada muestra fue previamente homogenizada y cuarteada utilizando un cuarteador Jones de 12 aberturas y luego triturada utilizando la trituradora de mandíbulas "DENVER" del tipo "HA", obteniendo un producto con reducción de tamaño con promedio de 2 a 3cm. Las muestras

fueron sometidas a conminución, hasta obtener un d_{80} de 3mm, utilizando el molino de rodillos "DENVER del tipo "DA".

La preparación y el cribado es un proceso que incluye algunas o todas las operaciones siguientes:

- a) Separación de estéril y carbón mineral por sus características físicas.
- b) Tamizado y clasificación en fracciones de diferentes tamaño.
- c) Escogido a mano de los tamaños grandes para eliminar impurezas.
- d) Trituración de los tamaños mayores para obtener tamaños pequeños generalmente requeridos para los análisis de laboratorio.
- e) Lavado para eliminar impurezas inorgánicas cuando se requiere carbones con pocas cenizas.
- f) Secado cuando las partículas de carbón de tamaño pequeño se lavan para eliminar impureza.
- g) Peso y clasificación de la materia estéril y del carbón mineral.

3.4.- Caracterización de las muestras de carbón mineral.

Para determinar las principales propiedades físicas, químicas y mineralógicas, se realizaron los siguientes ensayos:

- a) Análisis granulométrico.
- b) Análisis físico.
- c) Análisis Inmediato
- d) Análisis elemental.
- e) Poder calorífico.
- f) Difracción de rayos X.
- g) Análisis petrográfico

3.4.1 Análisis Granulométrico.

La finalidad es obtener una clasificación o distribución por tamaño de las partículas presentes en el carbón mineral. Para obtener dicha distribución y posteriormente realizar las curvas granulométricas de cada muestra de

carbón mineral, se emplean tamices normalizados y numerados, colocados en orden decreciente.

Tamiz (ASTM)	Abertura real (mm)	Abertura real (pulg)
4	4,76	0.187
10	2	0.0787
18	1	0.0394
50	0,3	0.0117

Tabla 3.2. Características de tamices (ASTM) utilizados

Equipos y materiales:

1. Tamices (ASTM) # 4, # 10, # 18, # 50, de la Serie de Tyler
2. Balanza mecánica "A. VANDONI", tipo B, con capacidad de peso 5 Kg.
3. Trituradora de Mandíbulas "DENVER" del tipo "HA".
4. Molino de Rodillo "DENVER" del tipo "DA".

Procedimiento:

1. Pesaje, se obtuvo el peso bruto de las muestras, (estéril y mineral), para conocer la cantidad de material con que empezamos el proceso.

2. Clasificación manual. Mediante un proceso de selección visual se separó la fracción mineral de la estéril, luego se procedió a pesar cada fracción.
3. Homogenización y cuarteo: Cada muestra fue previamente homogenizada y luego cuarteada utilizando un cuarteador Jones de 12 aberturas.
4. Trituración: se inició la operación de reducción de tamaño de las muestras de mineral, para obtener un tamaño promedio de 2 a 3cm.
5. Molienda: Utilizando el molino de rodillos "DENVER del tipo "DA" cada muestra fue sometida a conminución, hasta obtener un d80 de 3mm.
6. Análisis granulométrico que consistió en la separación del mineral en las mallas según normas ASTM # 4, # 10, # 18, # 50, por medio del equipo "RO TAP", modelo "B". Previamente se ordenó en forma correcta los tamices a utilizar y se colocó las muestras de carbón mineral dentro del tamizador equipo "RO TAP" por el tiempo de 8 a 10 minutos aproximadamente.
7. Pesar el carbón mineral que se encuentra en cada tamiz.
8. Realizar los cálculos respectivos
9. Realizar las respectivas curvas granulométricas de cada muestra de carbón mineral.

Cálculos Realizados:

$$\% \text{ Retenido} = \text{Peso retenido} / \text{Total retenido} * 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido 1} + \% \text{ Retenido 2} \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Pasante} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado.} \quad (3.3)$$

3.4.2.- Análisis Físico.

Los ensayos que se realizaron en las muestras de carbón mineral fueron: **Color, Lustre, Fractura, Friabilidad, Dureza, Densidad Real, Densidad Aparente y Porosidad.**

3.4.2.1.- Color.

En este ensayo se observó que las muestras de carbón mineral de las distintas provincias varían desde Café para las Turbas, Marrón para los Lignitos, Gris oscuro para los Bituminosos y sub-bituminoso, y Negro intenso para las Antracitas.

3.4.2.2.- Lustre.

Se observó que en los carbones bituminosos duros poseían un lustre opaco, mientras que en los bituminosos suaves presentaban un lustre brillante y en ocasiones intercalado con opaco.

3.4.2.3.- Fractura.

Generalmente este término es indicativo del Rango que posee el carbón mineral. Las antracitas y los bituminosos altos (Cannel), se fracturan en superficies curvas irregulares y que se las conoce como fracturas concoideas. Los carbones con poco contenido de volátiles tienen fractura columnar. Los de alto contenido de volátiles tienden a fracturarse en forma de cubos.

3.4.2.4.- Friabilidad.

Propiedad del carbón a resistir rotura durante su manipulación en el transporte o manipulación.

3.4.2.5.- Dureza.

Se mide por el tamaño y profundidad de la raya producida por un cuerpo penetrante. Los carbones que contienen entre el 80 al 85% de carbono muestran un máximo de dureza. De los componentes del carbón el que presenta más dureza es el durenoso y el más blando es el vitreoso.

3.4.2.6.- Densidades del carbón mineral.

3.4.2.6.1.- Densidad Real.

Este ensayo permite determinar la masa de agua desplazada por una cantidad conocida de carbón que haya sido previamente pulverizada y pesada.

MATERIALES Y REACTIVOS

Los materiales y reactivos empleados en este ensayo son los siguientes:

MATERIALES

1. Matraz de 50 ml
2. Balanza analítica
3. Espátula de metal
4. Frasco lavador

REACTIVOS

1. Agua destilada
2. Muestra de carbón mineral.

Procedimiento.

- Pesar el matraz vacío
- Agregar 50 gr. de carbón mineral al matraz y pesar nuevamente
- Aforara el matraz con agua destilada, cuidando que no exista burbujas de aire
- Realiza una nueva pesada
- Realizar los cálculos correspondientes.

Cálculos

Los cálculos se realizan aplicando la siguiente formula:

$$D = P/[V_1*(P_1-P_2)] \quad (3.4)$$

Donde:

P = peso de la muestra del carbón mineral en gramos.

V_1 = volumen del matraz en ml.

P_1 = peso del matraz con la muestra de carbón mineral y agua en gramos.

P_2 = peso del matraz con el carbón mineral en gramos.

Resultados

El peso específico se lo expresa en g/ml o Kg/l

3.4.2.6.2.- Densidad Aparente.

Este ensayo consiste en la determinación de la masa de agua desplazada por una cantidad de un trozo de carbón previamente pesado.

MATERIALES Y REACTIVOS

MATERIALES

1. Probeta de 50 ml
2. Balanza analítica

REACTIVOS

1. Muestra de carbón mineral
2. Agua

Procedimiento

1. Pesar 50 gr. de muestra de carbón mineral
2. Colocar 30 ml. de agua en la probeta y añadir la muestra de carbón mineral.
3. Observar el nuevo volumen y anotar
4. Realizar los cálculos respectivos

Cálculos

La determinación de la densidad aparente se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = M/V_D \quad (3.5)$$

Donde:

M = peso de la muestra del carbón mineral en gr.

$V_D = V_2 - V_1$

V_1 = volumen inicial en ml.

V_2 = volumen final en ml.

Resultados

Los resultados se expresan en Kg/l

3.4.2.6.3. Porosidad

En este análisis evaluamos el espacio poroso que presentan las muestras de carbón mineral.

MATERIALES Y REACTIVOS

Los materiales y reactivos son los mismos que se utilizaron en la determinación de las densidades real y aparente del carbón mineral.

Procedimiento

Se tomará como base los valores obtenidos en la densidad real y la densidad aparente.

Cálculos

Para determinar el porcentaje de porosidad se aplica la siguiente fórmula:

$$\epsilon = (D_{AP}/D_R) * 100 \quad (3.6)$$

Donde:

D_R = densidad real en g/cm^3

D_{AP} = densidad aparente en g/cm^3

ϵ = porosidad en %

3.4.3. Análisis Inmediato.

Consiste en determinar el contenido de:

1. Humedad (H),
2. Materias volátiles (MV).
3. Carbono fijo (CF)
4. Materias no combustibles "cenizas" (CZ).

3.4.3.1.- Análisis de Humedad (H).

Es el contenido de agua presente en las muestras de carbón mineral.

Equipos

1. Horno de secado (105 °C)
2. Desecador de vidrio
3. Recipientes para muestras con tapa
4. Balanza graduada (a 0,1 gr.)

Procedimiento

1. Se calienta el horno a 105 °C lo que permitirá remover los elementos volátiles y líquidos
2. Se divide la muestra de 50 a 100 gramos
3. Se pone la muestra en los recipientes previamente pesados y numerados, y se cubren inmediatamente
4. Se saca y bota previamente materiales inorgánicos como plásticos, vidrio, goma, metales, y otros que no absorban humedad.
5. Se seca el material a peso constante.
6. El recipiente debe estar destapado, una vez que esté en el horno.
7. Se deja la muestra en el horno durante 48 horas.
8. Se enfría la muestra sobre una superficie seca o en un desecador de vidrio
9. Se pesan las muestras.

Cálculos

El porcentaje (%) de humedad (base húmeda) será:

$$\text{(Perdida de peso / Peso húmedo neto) x 100} \quad (3.7)$$

3.4.3.2.- Análisis de la Materia Volátil.

Son los ingredientes activos que ayudan a producir energía calórica. Consiste de gases y vapor de agua que son expedidos por el carbón cuando este es sometido a un calentamiento en condiciones determinadas.

Equipos

1. Un horno de secado
2. Una balanza analítica
3. Un desecador de vidrio
4. Crisoles de porcelana
5. Un horno de mufla con pirómetro indicador y control de la temperatura por reostato (para alcanzar temperaturas de 650 °C).

Procedimiento

- Se transfiere unos 5 gramos de muestra secados y molidos en un crisol previamente incinerado y tratado (W1).
- Se vuelve a secar la muestra en el crisol a 75 °C en el horno de secado durante dos horas.

- Se saca el crisol del horno y se deja enfriar en el frasco secador.
- Se pesa el crisol (W2) y se determina el peso neto seco de la muestra (W2 – W1).
- Se coloca el crisol en el horno de mufla, frío, y luego se aumenta la temperatura del horno gradualmente hasta los 650 °C y se mantiene esta temperatura durante dos horas.
- Se saca el crisol del horno y se deja enfriar en el frasco secador.
- Se pesa el crisol (W3) y por diferencia se determina el peso de la materia volátil (W3 – W1).

Cálculos

$$(\text{Perdida de peso 2} / \text{Perdida de peso 1}) \times 100 \quad (3.8)$$

3.4.3.3.- Análisis del Carbón Fijo.

Es el residuo sólido obtenido por la destilación destructiva del carbón. Este residuo se quema a alta temperatura después que los materiales volátiles han sido extraídos, produciendo la energía calórica.

Procedimiento

La diferencia del 100% con los análisis de humedad, cenizas y materia volátil nos dará el Carbón Fijo.

Cálculos

Se debe cumplir::

$$CF = 100\% - (H + CZ + MV) \quad (3.9)$$

Donde:

CF = Carbón fijo

H = Hidrógeno

CZ = Cenizas

MV = Materia volátil

3.4.3.4.- Análisis de las Cenizas.

Es el residuo de las sustancias minerales incombustible que quedan después de que el carbón es quemado bajo condiciones

determinada, hasta lograra un peso constante. La composición de las cenizas por lo general es una mezcla de:

Sílice (SiO_2); Alúmina (Al_2O_3); Oxido de hierro (Fe_2O_3); Magnesia (MgO); Cal (CaO), silicatos, aluminosilicatos, carbonatos, sulfuros, sulfatos, y otros óxidos.

Las cenizas impiden la producción de la energía calórica del carbón mineral.

Equipos

1. Un horno de secado
2. Una balanza analítica
3. Un desecador de vidrio
4. Crisoles de porcelana
5. Un horno de mufla con pirómetro indicador y control de la temperatura por reostato (para alcanzar temperaturas aproximadamente de $1200\text{ }^\circ\text{C}$)

Procedimiento

- ☛ Se transfiere unos 5 gramos de muestra secados y molidos en un crisol previamente incinerado y tratado (W1).
- ☛ Se vuelve a secar la muestra en el crisol a 75 °C en el horno de secado durante dos horas.
- ☛ Se saca el crisol del horno y se deja enfriar en el frasco secador.
- ☛ Se pesa el crisol (W2) y se determina el peso neto seco de la muestra (W2 – W1).
- ☛ Se coloca el crisol en el horno de mufla, frío, y luego se aumenta la temperatura del horno gradualmente hasta los 1200 °C y se mantiene esta temperatura durante dos horas.
- ☛ Se saca el crisol del horno y se deja enfriar en el frasco secador.
- ☛ Se pesa el crisol (W3) y de esta manera se determina el peso de la ceniza (W3 – W1).

Cálculos

$$(\text{Pérdida de peso 3} / \text{Pérdida de peso 1}) \times 100 \quad (3.10)$$

3.4.4.- Análisis Elemental.

Este análisis es el que permite determinar la composición elemental de las sustancias orgánicas del carbón mineral en términos del contenido de:

Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, Azufre y Oxígeno por diferencia

3.4.4.1.- METODO DE ANALISIS PARA DETERMINAR AZUFRE

Equipos

1. Placa caliente u otra fuente de calor
2. Crisoles de porcelanas
3. Muflas (de 600 °C a 900 °C)
4. Horno de secado
5. Desecador de vidrio
6. Balanza analítica
7. Vasos de precipitados (250 y 400ml)
8. Papel filtro (Whatman No. 40 y 42)
9. Vidrios –reloj estriados
10. Pipetas volumétricas.

Reactivos

1. Agua para lavado
2. Indicador naranja de metilo; 1ml de solución saturada de naranja de metilo por litro de agua destilada.
3. Hidróxido de amonio concentrado
4. Acido clorhídrico concentrado
5. Solución de agua bromurada concentrada
6. Solución de cloruro de bario al 10%

Procedimiento

1. Se recoge el lavado de la bomba, que sigue a la combustión de la muestra (prueba del poder calorífico) que no pese más de un gramo. Recuérdese que debe de lavar hasta que no se observe reacción ácida adicional y asegúrese que se agrega todo el precipitado al vaso que recoge el lavado.
2. Se titula el lavado con una solución estándar de carbonato de sodio (0,0725N) para determinar la corrección ácida.
3. Después de la neutralización, se agrega un mililitro de hidróxido de amonio (NH_4OH), se calienta a la solución hasta hervir y se

filtra a través del papel filtro rápido (Whatman No. 41) dentro de un vaso precipitado de 400 a 600 °C

4. Se lava el papel filtro y los residuos con agua destilada caliente
5. Se agrega agua suficiente al vaso de precipitado, de modo que el volumen total de la solución sea aproximadamente 250ml.
6. Se neutraliza la solución con HCL concentrado y se añade 2ml de exceso.
7. Se agrega 10ml de agua bromurada saturada.
8. Se evapora la solución aproximadamente 200ml sobre una placa caliente u otra fuente de calor.
9. Se agrega lentamente a la solución 10ml de cloruro de bario al 10% mientras se agita por dos minutos.
10. Se tapa el vaso de precipitado con un vidrio- reloj estriado y se reduce el volumen a 75ml en una aplaca caliente.
11. Se deja que el precipitado sedimente y enfríe. Recuérdese que el periodo de enfriamiento podrá ser de 1 a 12 horas, dependiendo de la muestra analizada.
12. Se filtra el precipitado a través de un papel filtro (No 42)
13. Se lava el papel filtro con agua destilada caliente hasta asegurarse de que este libre de cloruros.

14. Se trasfiere el papel filtro contenido el precipitado a un crisol previamente secado y pesado.
15. Se seca y carboniza el papel filtro a baja temperatura sin que arda.
16. Se pone el crisol en la mufla y se eleva a 600 °C la temperatura. El crisol deberá permanecer a esta temperatura por dos horas en la mufla.
17. Se enfría en un desecador de vidrio hasta alcanzar la temperatura ambiente.
18. Se pesa de nuevo el crisol.

Cálculos

% AZUFRE EN LA MUESTRA:

$$\text{Peso del Vaso} \times 13,734 / \text{peso de la muestra.} \quad (3.11)$$

3.4.5.- Poder Calorífico.

Es el calor generado por la combustión completa del carbón mineral en atmósfera de oxígeno, y que depende directamente del contenido de carbono fijo y la materia volátil. Este poder calorífico se expresa Universalmente en Unidades Térmicas Inglesas (Británicas) BTU/lb.

Equipos

1. Un calorímetro de bomba de oxígeno
2. Una conexión para el relleno de oxígeno
3. Un cilindro de oxígeno
4. Un regulador de presión
5. Una balanza con capacidad neta de peso hasta 5 Kg.
6. Un horno de secado
7. Un frasco secador
8. Una balanza analítica.

Reactivos

1. Agua destilada
2. Solución de carbonato de sodio, 0,0725N
3. (3,84gr. de Na_2CO_3 disuelto en agua destilada hasta un 1lt)
4. Indicador de naranja de mitilo o rojo de mitilo

Procedimiento

1. Se estudia y cumple a detalle las instrucciones del fabricante del calorímetro.
2. Se pesa hasta un décimo de miligramo entre 0,8 a 1,2gr de la muestra previamente molida y resecada directamente en la cápsula metálica de combustión.
3. Se instala el alambre fusible entre los dos electrodos de la bomba de oxígeno, se pone la capsula en el soporte de la abrazadera de uno de los electrodos y se coloca una cantidad determinada de agua destilada (1ml) en la bomba.
4. Se pone la cabeza de la bomba dentro del cilindro y se atornilla la tapa firmemente con la mano mediante una argolla de contacto.

-
1. Se conecta la válvula de entrada del oxígeno al cilindro que contiene este gas y se deja penetrar lentamente el oxígeno hasta llegar a una presión de 30 atms. Luego se cierra la válvula de entrada de oxígeno y se desconecta la bomba.
 2. Se llena el balde del calorímetro con 2000gr de agua destilada para que la bomba quede sumergida en ella y completamente cubierta. La temperatura del agua debe estar aproximadamente a 1,5 °C en relación a la temperatura ambiente.
 3. Se sumerge la bomba en el balde, se conecta los bornes de los electrodos con el circuito de ignición y se coloca la tapa con el termómetro y el agitador.
 4. Se pone el agitador en marcha y se mantiene la agitación durante cinco minutos antes de empezar las lecturas de la temperatura. Enseguida se lee el termómetro cada 60 segundos y se anotan las temperaturas con aproximación de una milésima durante otros cinco minutos por lo menos.
 5. Se cierra el circuito de ignición y se anota la temperatura al momento de ignición, al final de este periodo preliminar.
 6. Se hace la lectura y la anotación de las temperaturas a los 45, 60, 75, 90, 105, segundos después de producido el encendido y luego a

intervalos de un minuto hasta que se halla llegado al valor máximo de la temperatura.

- ✚ Se sigue anotando las temperaturas, ahora decrecientes, durante otros cinco minutos.
- ✚ Se detiene el motor una vez anotada la última lectura y se remueve la tapa, se desconecta los bornes de ignición y se retira la bomba del calorímetro.
- ✚ Se espera durante unos cinco minutos y enseguida se deja escapar lentamente los gases abriendo la válvula de salida. Se destornilla la tapa de la bomba y se revisa cuidadosamente para cerciorarse de que no queden partículas de combustibles sin quemar. En caso de haberlas se descarta el ensayo.
- ✚ Se lava bien el interior de la bomba, inclusive la tapa de la válvula y la cápsula con un chorro de agua destilada y se vierte el lavado en un vaso de precipitación. Se hace la titulación del lavado usando la solución de Na_2CO_3 0,0725N y el indicador naranja de metilo. Se conserva la solución que queda después de la titulación a fin de usarla en la prueba de azufre.
- ✚ Se remueve cuidadosamente los excesos del alambre fusible no quemados y se mide.

Se hace la prueba de azufre conforme al manual del fabricante del calorímetro.

Cálculos

Para el cálculo del poder calórico superior se utilizan las instrucciones del fabricante de la bomba en cuestión, pues esta depende del tipo de bomba que se utilice.

Como puede haber interés en conocer datos en BTU*/libra, se representa a continuación la ecuación para la conversión de dicha unidad:

$$\text{BTU/libra} = (\text{caloría} / \text{gramos}) \times 1,8 \quad (3.12)$$

Se calcula el poder calórico inferior a partir del poder calórico superior, deduciéndose 1.030BTU por una libra (572 calorías por gramos) de agua proveniente de la humedad como la formada por combustión.

3.4.6.- Difracción de Rayos X .

Este ensayo se realiza con la finalidad de buscar principalmente componentes, arcillosos, e impurezas como yeso y cuarzo.

La técnica de difracción de rayos X es de una gran ayuda ya que nos permite determinar o identificar los minerales presentes dentro de una muestra de algún compuesto.

Equipo

Difractómetro de rayos X, marca RIGAKU, modelo, GEIGERFLEX D/MAX con goniómetro horizontal, tubo de cobre (Cu), velocidad de barrido 1.2 y 0.6° por segundo y con un barrido de 2° a 70°, el tiempo que se demoró es de 54 minutos por muestra, el voltaje requerido por este equipo es de 40kv y de 15mA.

Procedimiento

1. Primero se debe elegir las condiciones particulares para la preparación adecuada de las muestras.

2. En la preparación de las muestras influyen varios factores que repercuten positivamente en los difractogramas.
3. La perfecta trituración del mineral hasta conseguir un finísimo polvo, casi impalpable con las yemas de los dedos.
4. La colocación adecuada del mineral pulverizado en el porta muestra del difractómetro.
5. La eliminación máxima del efecto de orientación que el mineral pueda poseer por su propia estructura externa.
6. El método empleado fue el denominado **Método del polvo**, que consiste en tomar una muestra de carbón mineral y adherirla en una placa de vidrio, la cual va a rotar. Sobre dicha placa va a incidir una haz de rayos X monocromático, que se va a difractar de acuerdo cómo incida con los diferentes planos cristalográficos.
7. El registro de la intensidad y el ángulo de 2θ graficado, muestra el difractogramas del compuesto, esto es el comparado con varios difractogramas patrones, pertenecientes a varios minerales. El difractogramas es analizado y se obtiene los difractogramas que superpuestos lo componen. Así se identifica los minerales a los que pertenecen aquellos difractogramas componentes.

3.4.7.- Análisis petrográfico

Se trata de un estudio microscópico de los tipos de rocas y minerales que forman el carbón mineral. Para este tipo de análisis se utilizan dos tipos de ensayo:

1. Secciones o láminas delgadas.
2. Superficies pulidas

3.4.7.1 Secciones o láminas delgadas.

Consiste en cortar una sección muy fina de la masa carbonosa y estudiarla a través de un microscopio petrográfico.

Materiales

1. Placas porta objetos
2. Placas cubre objetos

Reactivos

1. Sílica Gel
2. Muestras de carbón mineral.

Equipo**CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS MAQUINAS**

1.- **MAQUINA CORTADORA.-** HP (HIGHLAND PARK MANUFACTURING); MODEL 10TSB; Serial 10TSB771; Motor; DAYTON AC; Modelo 4k929; Voltaje 115/230; HP 1/3; RPM 1725; HZ 60

2.- **MICRO-CORTADORA.-** JARRETT SYSTEM "Automatic Speciment Preparation"; PH 1; Serie C00113; Hz 60; AC 110v.; RPM 1100

3.- **MAQUINA DESBASTADORA.-** "INGRAM THIN SECTION GRINDER"; Modelo 400TS; Serie 3055; V. 110/230; Hz 60; RPM 1725; Hp ½; PH 1; Tipo CS; Amp 7.2/3.6

4.- **MAQUINA PULIDORA.-** JARRETT SYSTEM "Automatic Speciment Preparation"; Serie P00110; PH 1; Hz 60; Motor AC10v; RPM 1500; Regulador de tiempo de 15 mi; Regulador del flujo de agua.

La base de los platillos pulidores de 9cm de radio y 1cm de espesor aproximadamente.

Los platillos pulidores tienen 10,25cm de radio y de espesor 1,4 aproximadamente.

Procedimiento

PREPARACION DE LAS SECCIONES PETROGRAFICAS PARA LA LUZ TRANSMITIDA. (Laminas Delgada)

Las secciones petrográficas para la luz transmitida (Secciones delgadas), son láminas muy delgadas de especialmente de materiales no opacos, montado en porta objetos de vidrios, para exámenes de microscopio por luz transmitida.

Las etapas para la preparación de estas secciones, en orden son las siguientes:

1. Corte
2. Desbaste
3. Impregnación
4. Nuevo corte
5. Esmerilado de acabado (Pulido)

- ✚ Preparar las muestras para realizar las láminas delgadas
- ✚ Tomar 1 ó 3 gr. de la muestra de carbón mineral y colocarla sobre una placa porta objeto que contenga Sílica gel, inmediatamente cubrir con la placa cubre objetos y dejar secar por 48 horas.
- ✚ Analizar en el microscopio cada lámina del carbón mineral.

3.4.7.2 Superficies pulidas.

Consiste en pulir la superficie de una masa carbonosa y observarla con un microscopio metalográfico. Con estos análisis podemos determinar sus propiedades tecnológicas para identificar los componentes del carbón y poder clasificarlos.

METODO PARA PULIR PLUF (VITRINITA)

Carburo de Silicio más aceite: se utiliza con las pesas de 300gr, durante un periodo de 7 minutos: luego se procede a lavar el disco a una velocidad baja.

Oxido de Aluminio más Aceite se lo utiliza junto con las pesas de 300gr, durante un periodo de 5 minutos: luego se procede a lavar el disco a una velocidad baja.

Disco de 7 micrones más pasta de 7 micrones más aceite con pesas medianas: durante 5 minutos: no se lava el disco. Velocidad media.}

Disco de 2,5 micrones más paste de 2,5 micrones más aceite y pesas medianas: durante 3 minutos: no se lava el disco. Velocidad media

Disco de 1,25 micrones más polvo A más aceite y pesas pequeñas: durante 3 minutos: velocidad máxima y no se lava el disco

Disco final "Supreme Plate " más polvo B más aceite y las pesas pequeñas : durante 3 minutos : velocidad máxima: no se lava el disco.

Cálculos

Los cálculos son más cualitativos que cuantitativos, ya que depende la forma del cristal de los elementos que se presenten para definir su fase presente

3.5.- Tratamiento mineralúrgico del carbón mineral .

3.5.1.- Disolución de los minerales.

La solubilidad de un mineral depende principalmente de la clase de disolvente, de la temperatura y del tamaño de las partículas a que haya sido pulverizado.

3.5.2.- Tratamiento Mineralúrgico.

A través de este ensayo, procedemos a la eliminación del material inorgánico (Cenizas), el cual se realizó mediante el Lavado del Carbón Mineral por el proceso denominado de **Agitación y Sedimentación**.

Además el tratamiento mineralúrgico dado al carbón mineral nos dio una valiosa información en cuanto a que reactivo mejora su calidad, dichos reactivos fueron los siguientes:

- ☛ Tratamiento del carbón mineral con ácido clorhídrico
- ☛ Tratamiento del carbón mineral con ácido sulfúrico
- ☛ Tratamiento del carbón mineral con hidróxido de sodio
- ☛ Tratamiento del carbón mineral con agua

PROCESO	MEDIO	pH	TIEMPO (min.)
Agitación Sedimentación	Neutro Agua H ₂ O	7	15
Agitación Sedimentación	Ácido Clorhídrico HCl	4	15
Agitación Sedimentación	Ácido Sulfúrico SO ₄ H ₂	4	15
Agitación Sedimentación	Básico Hidróxido de Sodio Na(OH) ₂	10	15

Tabla 3.3. Cuadro de los procesos y tiempo de lavado del carbón mineral.

3.5.2.1.- Tratamiento del carbón mineral con ácido clorhídrico.

En este tratamiento se utilizó un pH 4, y la duración de este proceso es de 15 minutos. La finalidad es de eliminar o disolver los óxidos y algunos sulfuros, fosfatos, y carbonatos.

Los fenómenos que pueden observarse al disolverse en ácido clorhídrico son los siguientes:

1. Efervescencia (desprendimiento de CO_2) carbonatos.
2. Desprendimientos de fuertes olores fétidos (H_2S) sulfuros.
3. Residuos blancos pulverulentos de silicatos.

Equipo

1. Lavacaros de 3lbs
2. Varilla agitadora
3. Un medidor de pH
4. Guantes
5. Gafas

6. Fundas plásticas
7. Marcadores
8. Cintas adhesivas

Reactivo: ácido clorhídrico (HCl).

Procedimiento

1. Se pesa aproximadamente una libra de carbón mineral
2. Se prepara el agua adicionando ácido clorhídrico a pH 4
3. Se mezclan en una lavacara y se procede a la agitación y fricción manual.
4. El tiempo de agitación es de aproximadamente 15 minutos
5. Se realiza la sedimentación entre 1 a 2 minutos
6. Se elimina todo el material fino, quedando solamente el material grueso.
7. Se procede al seco de las muestras en condiciones ambientales.
8. Se clasifican las muestras para los análisis de laboratorio.

3.5.2.2.- Tratamiento del carbón mineral con ácido sulfúrico.

En este tratamiento se utilizó un pH 4, la duración de este proceso es de 15 minutos. La finalidad es de eliminar o disolver algunos sulfatos, carbonatos y fluosilicatos.

Al disolver en ácidos sulfúrico los fenómenos que se presentan son:

- Efervescencia en los carbonatos.
- Corrosión del cristal en los fluoruros.
- Residuos blanco pulverulentos en los silicatos.

Equipo

1. Lavacaros de 3lbs
2. Varilla agitadora
3. Un medidor de pH
4. Guantes
5. Gafas
6. Fundas plásticas
7. Marcadores
8. Cintas adhesivas

Reactivo: ácido sulfúrico (SO_4H_2).

Procedimiento

1. Se pesa aproximadamente una libra de carbón mineral
2. Se prepara el agua adicionando ácido sulfúrico a pH 4
3. Se mezclan en una lavacara y se procede a la agitación y fricción manual
4. El tiempo de agitación es de aproximadamente 15 minutos
5. Se realiza la sedimentación entre 1 a 2 minutos
6. Se elimina todo el material fino, quedando solamente el material grueso.
7. Se procede al seco de las muestras en condiciones ambientales.
8. Se clasifican las muestras para los análisis de laboratorio.

3.5.2.3.- Tratamiento del carbón mineral con hidróxido de sodio.

En este tratamiento se utilizó con un pH 4, la finalidad es de eliminar los silicatos por densidad, la duración de este proceso es de 15 minutos.

Equipo

1. Lavacaros de 3lbs
2. Varilla agitadora
3. Un medidor de pH
4. Guantes
5. Gafas
6. Fundas plásticas
7. Marcadores
8. Cintas adhesivas

Reactivo: Hidróxido de sodio (Na(OH)).

Procedimiento

1. Se pesa aproximadamente una libra de carbón mineral
2. Se prepara el agua adicionando hidróxido de sodio a pH 10
3. Se mezclan en una lavacara y se procede a la agitación y fricción manual.
4. El tiempo de agitación es de aproximadamente de 15 minutos

5. Se realiza la sedimentación entre 1 a 2 minutos
6. Se elimina todo el material fino, quedando solamente el material grueso.
7. Se procede al seco de las muestras en condiciones ambientales.
8. Se clasifican las muestras para los análisis de laboratorio.

3.5.2.4.- Tratamiento del carbón mineral con agua.

En este tratamiento se utilizo agua para eliminar las arcilla y los sulfatos, presentes en las muestras de carbón mineral.

Equipo

1. Lavacaros de 3lbs
2. Varilla agitadora
3. Un medidor de pH
4. Guantes
5. Gafas
6. Fundas plásticas
7. Marcadores
8. Cintas adhesivas

Reactivo: Agua (H₂O)

Procedimiento

1. Se pesa aproximadamente una libra de carbón mineral
2. Se prepara el agua a pH 7
3. Se mezclan en una lavacara y se procede a la agitación y fricción manual.
4. El tiempo de agitación es de aproximadamente 15 minutos
5. Se realiza la sedimentación entre 1 a 2 minutos
6. Se elimina todo el material fino, quedando solamente el material grueso.
7. Se procede al seco de las muestras en condiciones ambientales.
8. Se clasifican las muestras para los análisis de laboratorio.

3.6.- Análisis de laboratorio.

Los siguientes laboratorios fueron utilizados para la realización de los diferentes análisis del carbón mineral:

1. Mineralurgia y mecánica de suelos de la FICT-ESPOL
2. Instituto de Ciencias Química y Ambientales de la ESPOL
3. Instituto de Química de la Universidad de Guayaquil
4. Difractometría de rayos X del Centro Técnico Mineral de Brasil.(CETEM).
5. Petrográficos de Petroproducción

3.7.- Análisis de los resultados y conclusiones.

Con los valores obtenidos de las pruebas, ensayos y análisis realizados en los laboratorios, se procedió a clasificar el tipo de carbón de las muestras obtenidas.

Diagrama de flujo

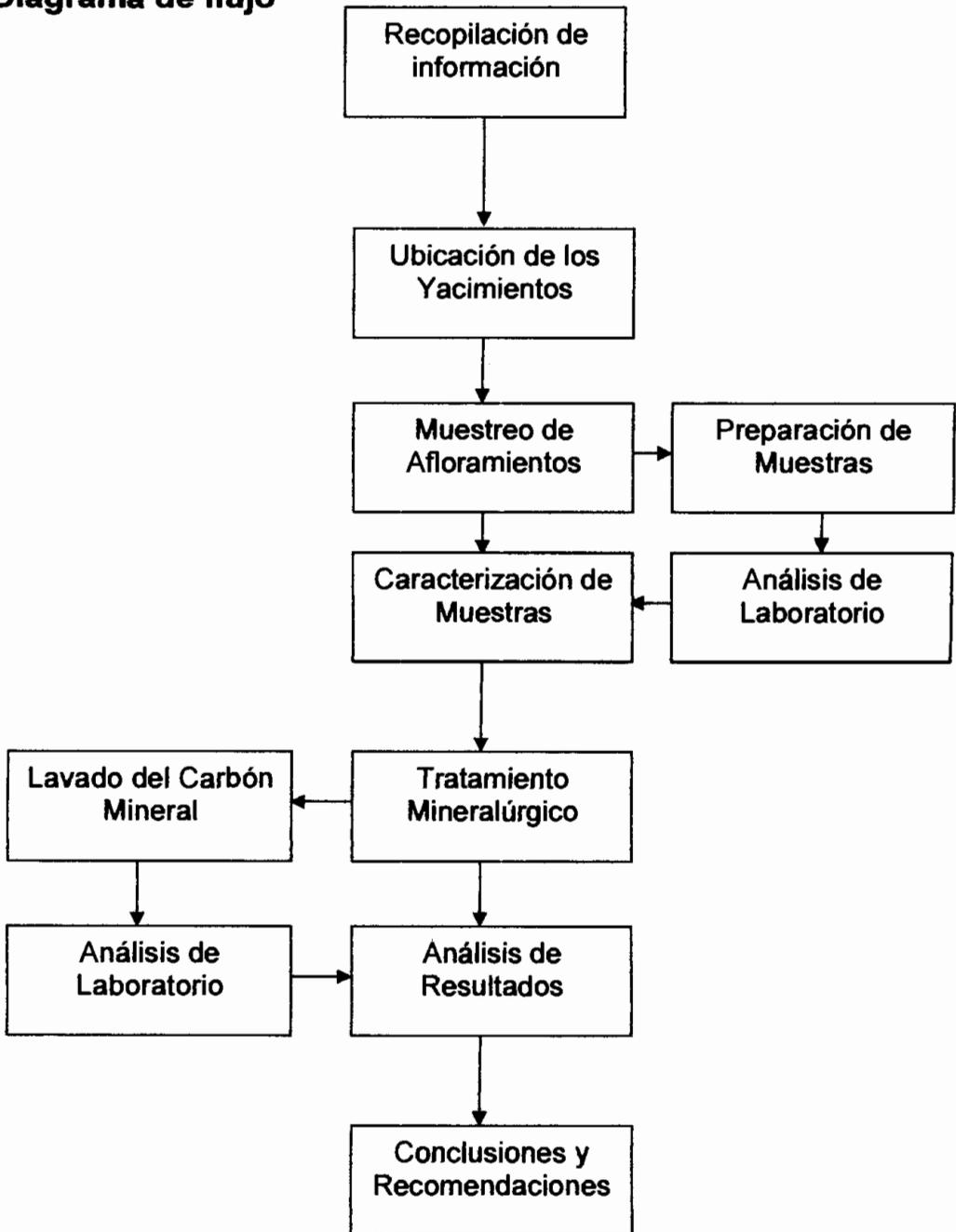


Fig. No.1 Diagrama Metodológico de la Investigación realizada con el carbón mineral

CAPITULO IV.

IV. POTENCIAL CARBONIFERO DEL

ECUADOR

4.1.- Estudios de exploración geológica minera.

Según los estudios realizados por la Dirección General de Geología y Minas, el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, cooperación de asistencia técnica de Alemania y Francia, Escuela Superior Politécnica del Litoral y otros, en el Ecuador, se han ubicado cuarenta y cuatro indicios de carbón mineral, situados en los terrenos sedimentarios del cretácico, terciario y cuaternario y han sido reportados como del tipo carbones sub-bituminoso, lignito y turba.

Tres estudios merecen ser destacados en la investigación del carbón en el país, dos determinaron reservas de carbón en los depósitos del sur en las provincias de Cañar y Loja y el tercero identificó el rango, tipo y clase de carbón mineral en 24 afloramientos. Como otros aportes deben mencionarse los efectuados por el Instituto Nacional de Energía y OLADE. Los tres estudios indicados son:

- Los carbones de Malacatos Loja [10].- Misión Geológica Minera Franco Ecuatoriana -Dirección General de Geología y Minas – Quito - 1959.
- Operación No.- 1, Coal and Hydrocarbons [1].- United Nations Development.- Program, Dirección General Geología Minas.- Quito 1969.

- Identificación de los carbones en el Ecuador y su futura utilización [5]- Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL - Egüez, Aguayo, Medina, López - Guayaquil 1987.

Los datos más relevantes de las citadas investigaciones constituyen las reservas del orden de 30.300.000 toneladas de carbón mineral en los tres yacimientos del país.

- **Biblian:** Ubicado en la provincia del Cañar, tiene cubicado 22.500.000 toneladas de carbón tipo lignito, con un poder calorífico de 3.500 a 4.700 Kcal / Kg, 13 a 19 % de humedad, 28 a 43 % de volátiles, 15 a 30 % de cenizas, 10 a 30 % de carbón fijo y 3 a 7 % de azufre.
- **Loja:** Ubicada en la provincia de Loja, con reservas del orden de los 3.800.000 toneladas de carbón tipo lignito y sub-bituminoso, con un poder calorífico de 4.200 a 5.200 kcal / kg, 3 a 12 % de humedad, 28 a 40 % de volátiles, 18 a 32 % de cenizas, 20 a 35 % de carbón fijo y 2 a 7 % de azufre.
- **Malacatos:** Ubicado en la provincia de Loja, con reservas de 4.000.000 de toneladas de carbón tipo lignito y sub-bituminoso, con un poder calorífico de

- 3.000 a 5100 kcal / kg, 3 a 12 % de humedad, 28 a 40 % de volátiles, 18 a 32 % de cenizas, 20 a 35 % de carbón fijo y 2 a 7 % de azufre.

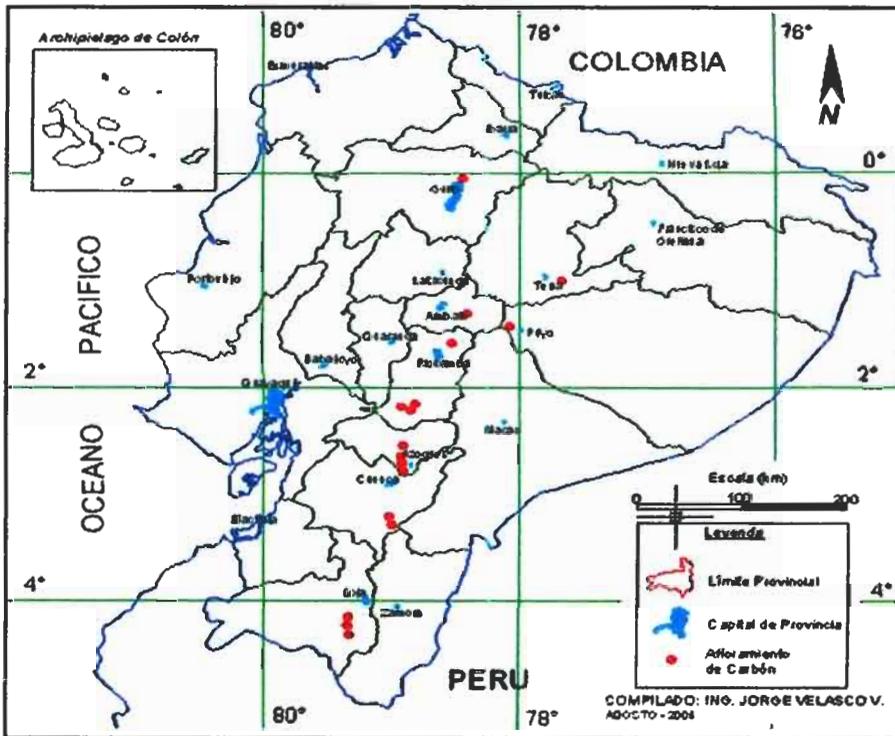


Figura 4.1. Mapa de Indicios de Carbón en el Ecuador (Internet)

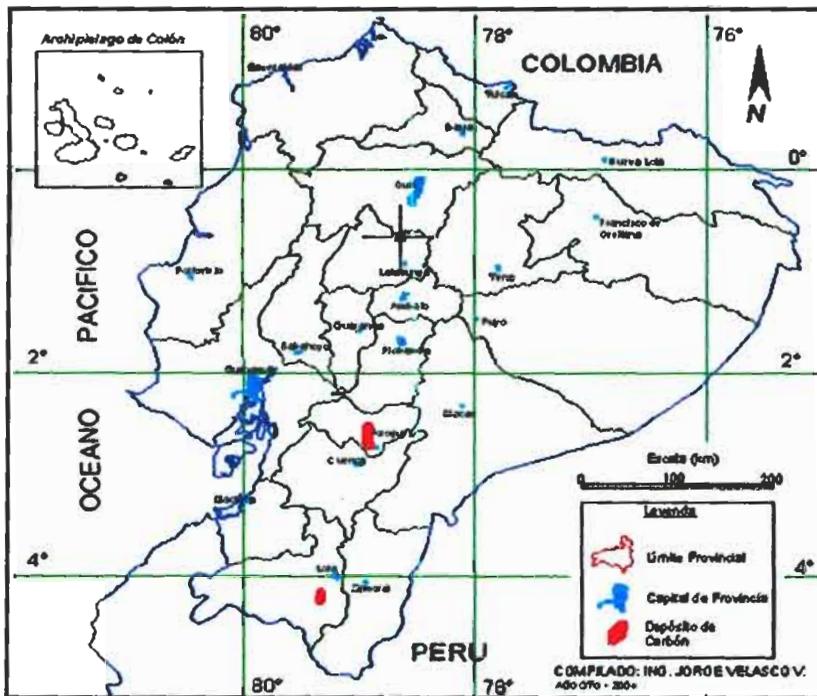


Figura 4.2. Mapa de depósitos de carbón en el Ecuador (Internet)

4.2.- Sectores prospectivos del Ecuador

Los carbones en el Ecuador se han formado bajo tres periodos geológicos que comprenden:

- ❖ La Formación Hollin del Cretácico Inferior.
- ❖ Grupo Ayancay y la Formación Arajuno del Mioceno Medio y Superior.
- ❖ Formación Palmira del Cuaternario.

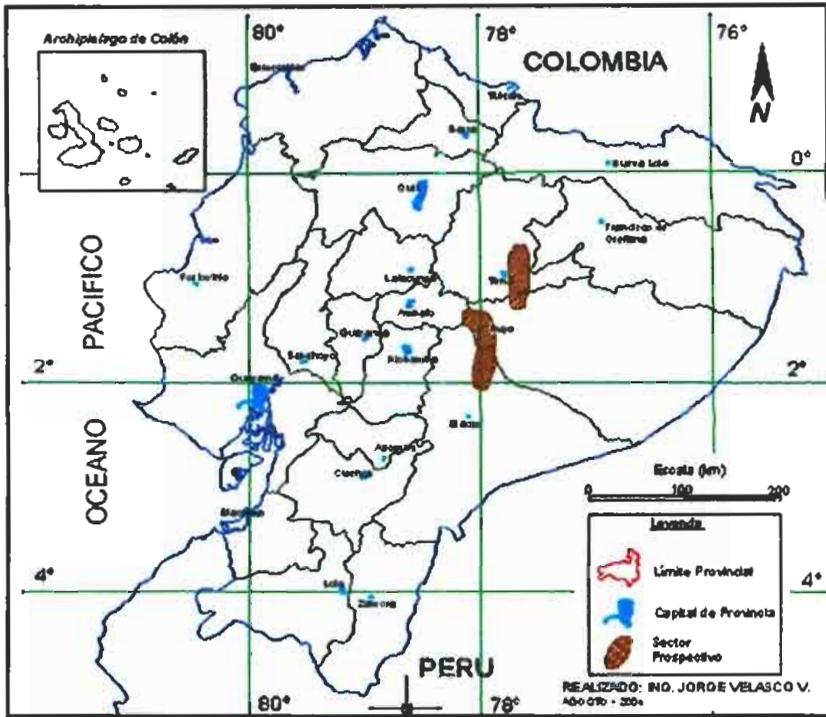


Figura 4.3. Mapa de Sectores Prospectivos del Ecuador (Internet)

Las cuencas que contienen los mantos de carbón se encuentran ubicadas en la región Andina y Oriental, la litología local correspondiente es:

1.- Región Andina

- a.) Formación Palmira.- Comprende sedimentos volcanoclásticos de aglomerados, tobas y areniscas tobáceas con intercalaciones decimétricas de lutitas tobáceas en contacto con mantos de carbón tipo turba.

- b.) Grupo Ayancay Medio.- Sedimentos de origen fluvial de areniscas, limolitas y lutitas carbonosas en contacto con mantos de carbón tipo lignito.

2.- Región Oriental

- a.) Formación Arajuno (Mioceno – Superior).- Sedimentos de arena, arcillas y manto de carbón tipo lignito.
- b.) Formación Hollín (Cretáceo – Inferior).- Sedimentos de areniscas, con lutitas arenosas, y lutitas carbonosas en contacto con manto de carbón de tipo sub-bituminoso a bituminoso.
- c.) Formación Napo (Cretáceo).- Es una serie variable de calizas fosilíferas grises a negras, entremezcladas con areniscas calcáreas y abundante lutitas negras.

4.3.-Ubicación de los sitios de muestreo

En las provincias de Cañar, Loja, Pastaza y Napo se ubicaron siete puntos de muestreos que corresponden a los afloramientos de carbón mineral, y se colectaron 70 kilos de carbón mineral, para realizar los estudios propuestos.

PROVINCIA	CÓDIGO	SECTOR	COORDENADAS (UTM)
Pastaza	CM - 01	Baños-Puyo	173.675 ; 9'849.987
Napo	CM - 02	4 Km. de Jondachi	195.250 ; 9'920.550
Napo	CM - 03	Unión de los ríos Hollín Grande y Chico	196.275 ; 9'923.450
Cañar	CM - 04	Quebrada Carpinteros	733.442 ; 9'694.950
Cañar	CM - 05	Carretera Biblian	733.128 ; 9'697.745
Cañar	CM - 06	Carretera San Luis	733.130 ; 9'697.743
Loja	CM - 07	Carretera Malacatos - La Merced	689.484 ; 9'537.947

Tabla 4.1. Ubicación de los muestreos para este trabajo

4.4.- Características de los carbones del país.

Los análisis que caracterizan a los carbones, son del tipo físico, químico y tecnológico. Las principales propiedades físicas del carbón son: gravedad específica, dureza, triturabilidad, friabilidad, color, lustre, fractura, clivaje y meteorización.

Los análisis químico permiten determinar la composición elemental del carbón mediante valores en (%) de humedad, cenizas, volátiles, carbón fijo y azufre.

Las pruebas tecnológicas determinan la plasticidad, dilatación, aglomeración, fluidez, briquetización, lavabilidad y poder calorífico.

Cuatro son los parámetros que se han tomado en consideración para caracterizar los carbones del país: humedad, materia volátil, carbón fijo expresado en porcentajes y poder calorífico en calorías

Los resultados de los análisis y pruebas clasifican al carbón mineral al tipo mostrado en la siguiente tabla.

LUGAR	EDAD	TIPO
Pichincha, Chimborazo	Cuaternario	Turba
Azuay, Cañar, Loja, Tungurahua, Napo y Pastaza	Terciario	Lignito y Sub-bituminoso
Pastaza y Napo	Cretácico	Bituminoso

Tabla 4.2. Ubicación de los muestreos para este trabajo

CAPITULO V.

V. CARACTERIZACION:

**Análisis granulométrico, físico,
químico y mineralógico del carbón
mineral**

5.1. Análisis Granulométrico.

Determinación del tamaño de las partículas de las muestras de carbón mineral.

MUESTRAS DE CARBON SIN TRATAMIENTO

CM- 01		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	46.57
18	1	65.75
50	0.3	89.04
fondo		100

Tabla 5.1. Análisis representativo de tamices CM-01

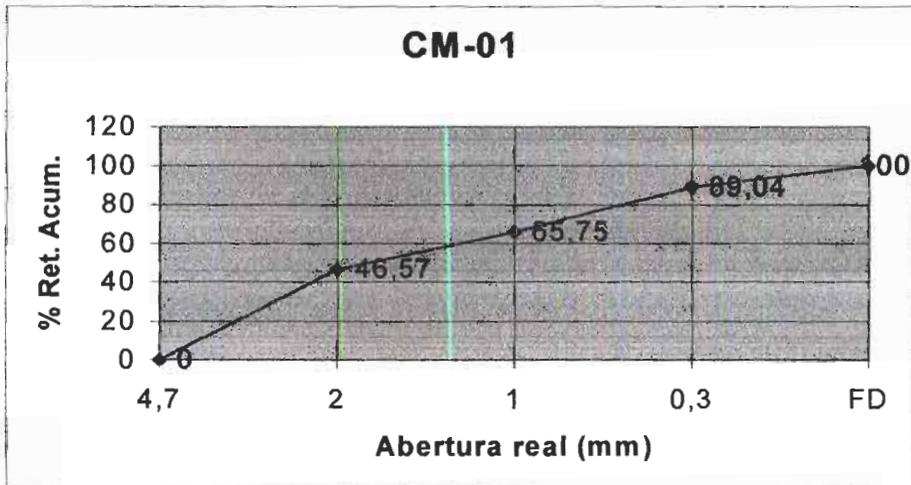


Figura 5.1. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-01

CM-02		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	50.68
18	1	73.97
50	0.3	91.78
fondo		100

Tabla 5.2. Análisis representativo de tamices CM-02

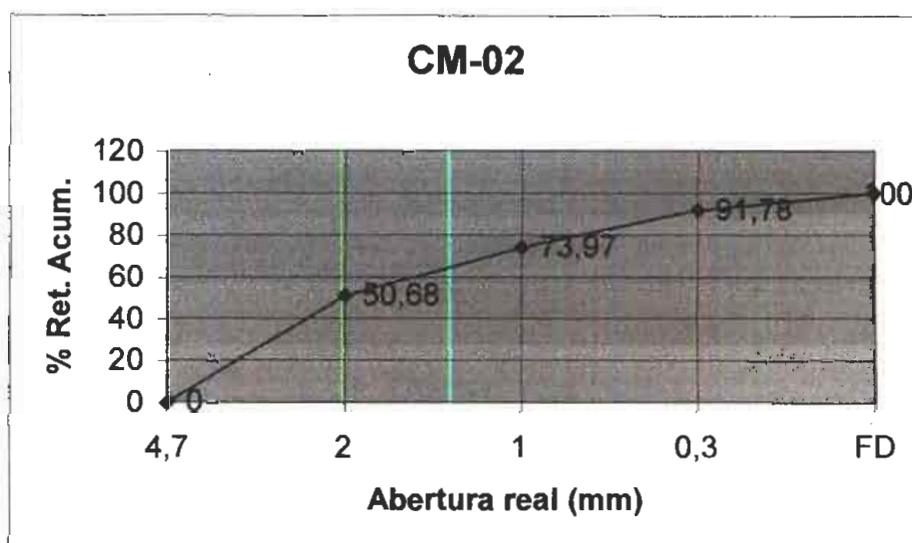


Figura 5.2. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-02

CM-03		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	48.65
18	1	70.27
50	0.3	90.54
fondo		100

Tabla 5.3. Análisis representativo de tamices CM-03

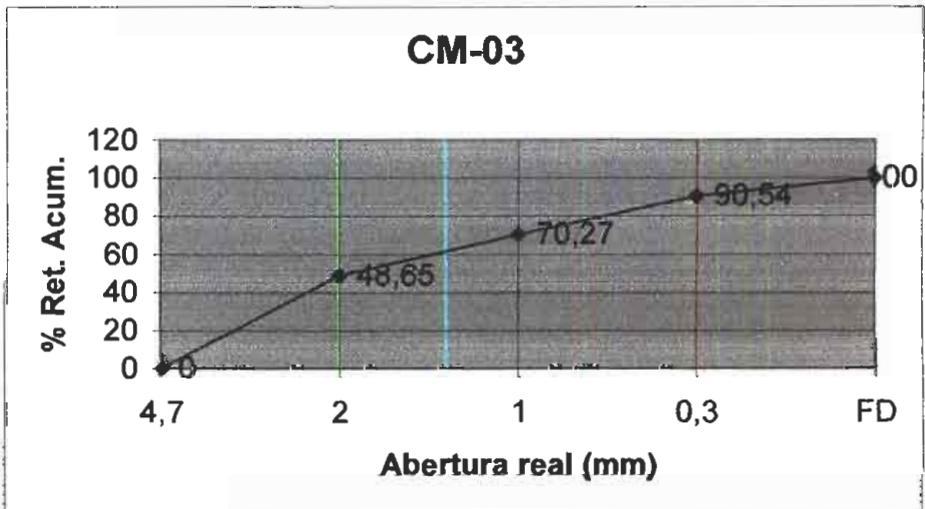


Figura 5.3. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-03

CM- 04		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	47.94
18	1	65.75
50	0.3	86.3
fondo		100

Tabla 5.4. Análisis representativo de tamices CM-04

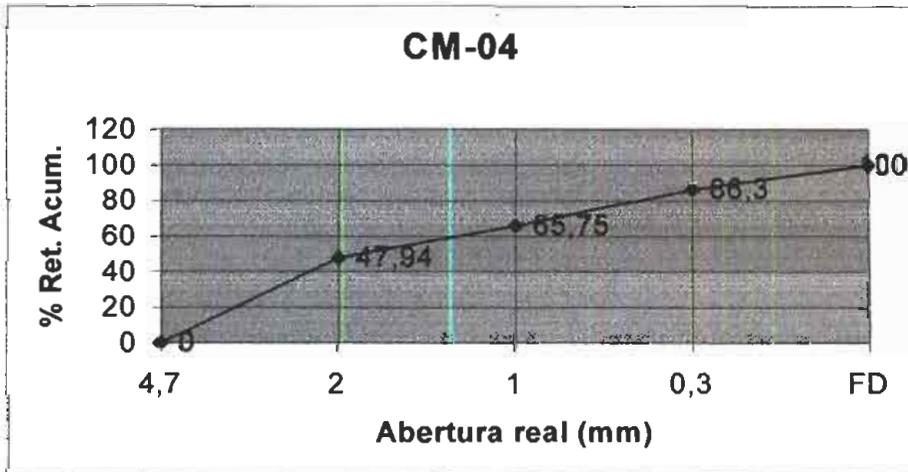


Figura 5.4. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-04

CM- 05		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	48.61
18	1	69.44
50	0.3	88.89
fondo		100

Tabla 5.5. Análisis representativo de tamices CM-05

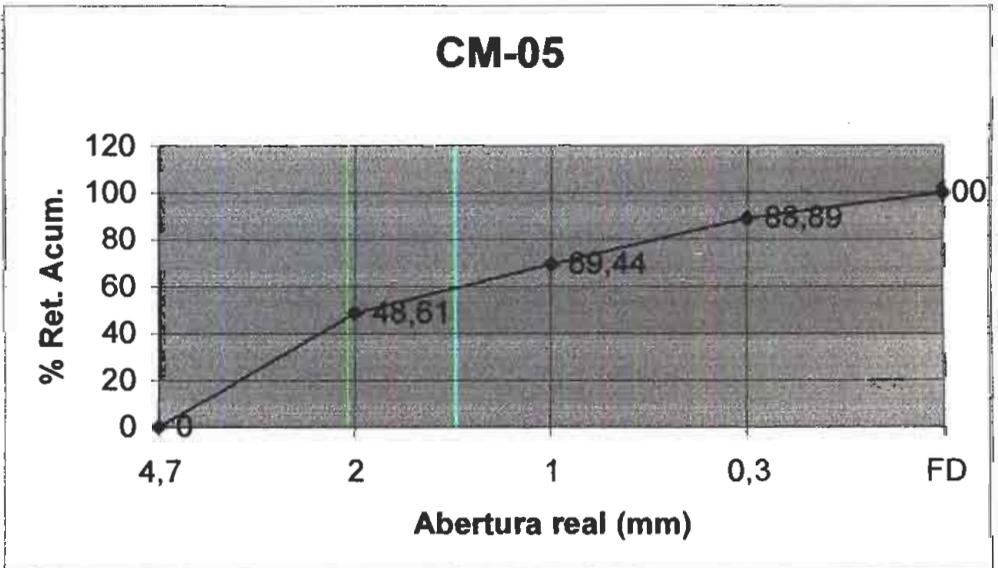


Figura 5.5. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-05

CM- 06		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	48.65
18	1	68.92
50	0.3	89.19
fondo		100

Tabla 5.6. Análisis representativo de tamices CM-06

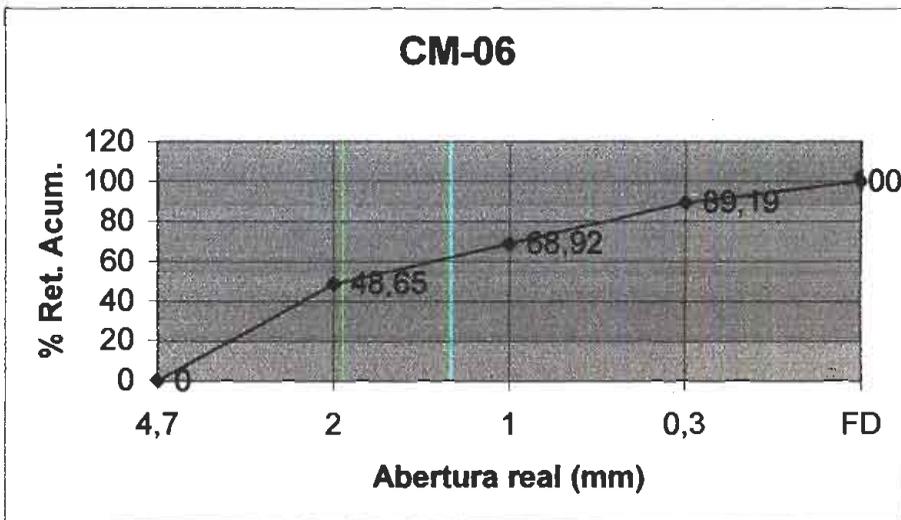


Figura 5.6. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-06

CM- 07		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	48.65
18	1	70.27
50	0.3	90.54
fondo		100

Tabla 5.7. Análisis representativo de tamices CM-07

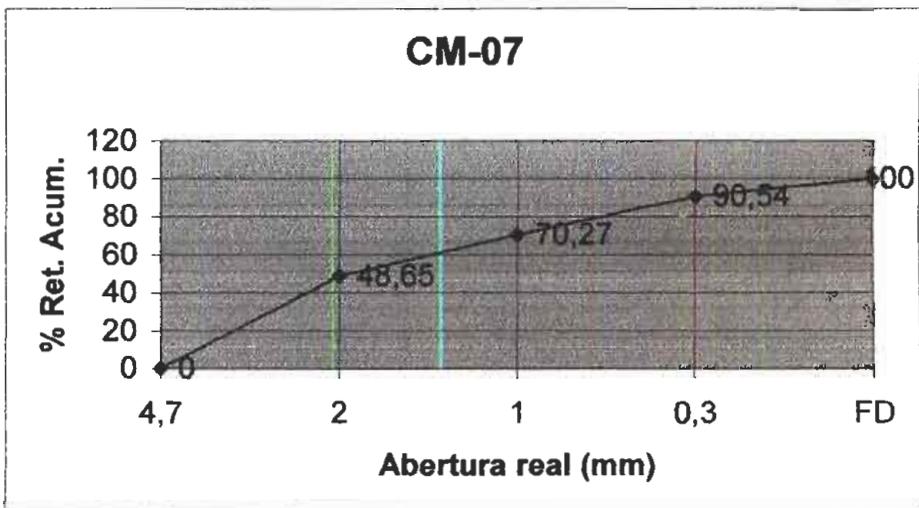


Figura 5.7. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de las demuestras CM-07

5.2.- Análisis Físico del carbón mineral

MUESTRA	COLOR	LUSTRE	FRACTURA	FRIABILIDAD	DUREZA	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)
CM - 01	Café Marrón	Opaco	Irregular	Mala	1	1.107	1.57	0.71
CM - 02	Negro	Brillante	Concoide	Muy Buena	4	0.918	1.41	0.65
CM - 03	Negro	Opaco	Concoide	Buena	4	1.83	2.10	0.87
CM - 04	Oscuro	Opaco	Cubos	Buena	3	1.22	1.56	0.78
CM - 05	Gris Oscuro	Semi Brillante	Cubos	Irregular	2	1.42	1.94	0.73
CM - 06	Gris Oscuro	Opaco	Columnar	Irregular	3	1.04	1.87	0.56
CM - 07	Negro	Graso	Columnar	Buena	3	1.2	1.51	0.80

Tabla 5.8. Resultados de los análisis físicos de las muestras de carbón mineral

5.3.- Análisis Químico del carbón mineral

5.3.1.- Análisis Inmediato del carbón mineral.

MUESTRA	HUMEDAD (%)	MATERIA VOLATIL (%)	CARBON FIJO (%)	CENIZA (%)
CM – 01	16	36	5	43
CM – 02	4	10	74	12
CM – 03	5	11	70	14
CM – 04	11	19	44	26
CM – 05	15	29	27	29
CM – 06	9	18	45	28
CM – 07	3	16	65	16

Tabla 5.9. Resultados de los análisis inmediatos de las muestras de carbón mineral

5.3.2.- Análisis Elemental del carbón mineral.

BASE RECIBIDA							
Unidad (%)	CM - 01	CM - 02	CM - 03	CM - 04	CM - 05	CM - 06	CM - 07
CARBONO	14.90	59.90	21.28	44.43	17.49	20.20	52.28
HIDROGENO	2.02	5.46	2.37	2.98	1.95	2.14	3.60
NITROGENO	0.48	0.72	0.24	1.46	0.76	0.65	1.15
AZUFRE	0.179	3.95	0.71	2.08	3.56	2.53	7.37
OXIGENO	33.50	3.82	8.39	14.56	26.29	15.21	11.25
BASE SECA							
Unidad (%)	CM - 01	CM - 02	CM - 03	CM - 04	CM - 05	CM - 06	CM - 07
CARBONO	15.19	60.80	21.50	42.68	18.09	21.25	54.30
HIDROGENO	2.06	5.54	2.40	3.10	2.02	2.25	3.74
NITROGENO	0.49	0.73	0.24	1.52	0.79	0.68	1.20
AZUFRE	0.183	4.00	0.72	2.16	3.68	2.66	7.66
OXIGENO	33.45	3.73	8.36	14.38	26.19	15.07	11.06
BASE HUMEDA							
Unidad (%)	CM - 01	CM - 02	CM - 03	CM - 04	CM - 05	CM - 06	CM - 07
CARBONO	15.15	60.42	21.32	45.68	17.83	20.86	53.28
HIDROGENO	2.05	5.51	2.38	3.06	1.99	2.24	3.67
NITROGENO	0.49	0.73	0.24	1.50	0.78	0.67	1.18
AZUFRE	0.182	3.98	0.71	2.14	3.63	2.61	7.52
OXIGENO	33.46	3.76	8.38	14.44	26.23	15.09	11.15

Tabla 5.10. Resultados de porcentajes de los análisis elementales de las muestras de carbón

5.3.3.- Poder Calorífico del carbón mineral.

BASE RECIBIDA							
	CM-01	CM-02	CM-03	CM-04	CM-05	CM-06	CM-07
PODER CALORIFICO.							
Superior Kcal/kg	1.209	6.065	2.090	3.770	1.464	1.697	4.634
Inferior Kcal/kg	1.105	5.783	1.968	3.616	1.363	1.585	4.449
PODER CALORIFICO.							
Superior KJ/KG.	5.061	25.392	8.750	15.783	6.129	7.106	19.402
Inferior KJ/KG.	4.626	24.214	8.238	15.142	5.707	6.638	18.625
BASE SECA							
	CM-01	CM-02	CM-03	CM-04	CM-05	CM-06	CM-07
PODER CALORIFICO							
Superior Kcal/kg.	1.232	6.455	2.112	3.927	1.514	1.785	4.813
Inferior Kcal/kg.	1.126	5.870	1.988	3.767	1.410	1.668	4.620
PODER CALORIFICO.							
Superior KJ/KG.	5.158	25.771	8.841	16.441	6.338	7.475	20.151
Inferior KJ/KG.	4.715	24.575	8.324	15.772	5.903	6.983	19.345
BASE HUMEDA							
	CM-01	CM-02	CM-03	CM-04	CM-05	CM-06	CM-07
PODER CALORIFICO.							
Superior Kcal/kg.	1.229	6.117	2.094	3.876	1.492	1.752	4.773
Inferior Kcal/kg.	1.123	5.833	1.971	3.718	1.390	1.637	4.534
PODER CALORIFICO.							
Superior KJ/KG.	5.144	25.611	8.766	16.228	6.247	7.337	19.773
Inferior KJ/KG.	4.702	24.423	8.253	15.569	5.818	6.854	18.981

Tabla 5.11. Resultados del poder calorífico de las muestras de carbón mineral

5.4.- Análisis Mineralógico del carbón mineral

5.4.1.- Difractogramas de Rayos X.

CARBON MINERAL 01

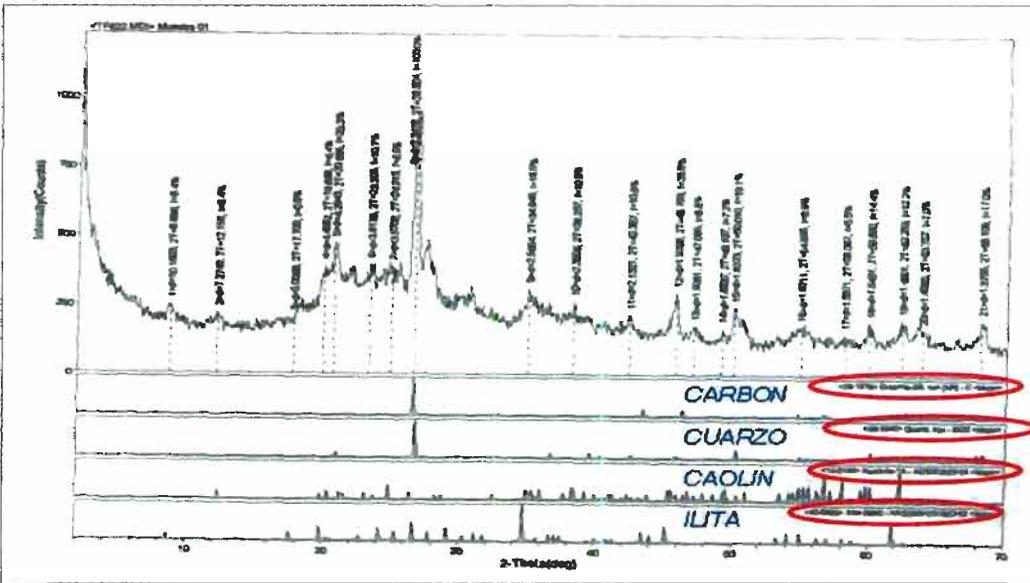


Figura. 5.8. Presencia de materia mineral en la muestra CM-01: (Cuarzo, Caolin, Ilita)
 {Elaborado: Centro Técnico Mineral (CETEM), BRASIL.}

CARBON MINERAL 02

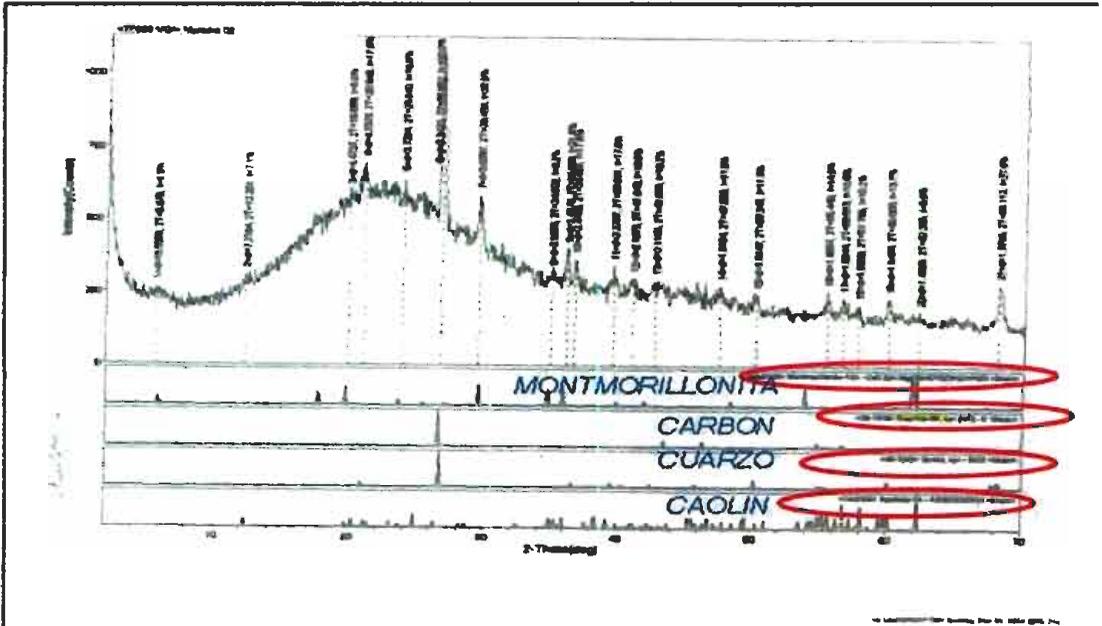


Figura. 5.9. Presencia de materia mineral en la muestra CM-02: (Caolin, Montmorillonita)
(Elaborado: Centro Técnico Mineral (CETEM), BRASIL.)

CARBON MINERAL 03

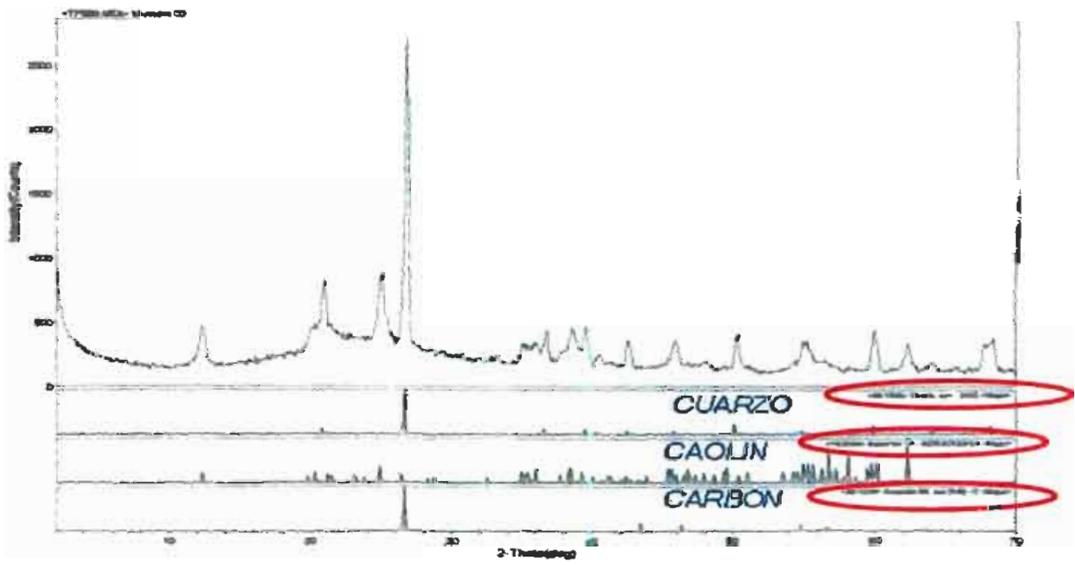


Figura. 5.10. Presencia de materia mineral en la muestra CM-03: (Cuarzo, Caolin)
{Elaborado: Centro Técnico Mineral (CETEM), BRASIL.}

CARBON MINERAL 04

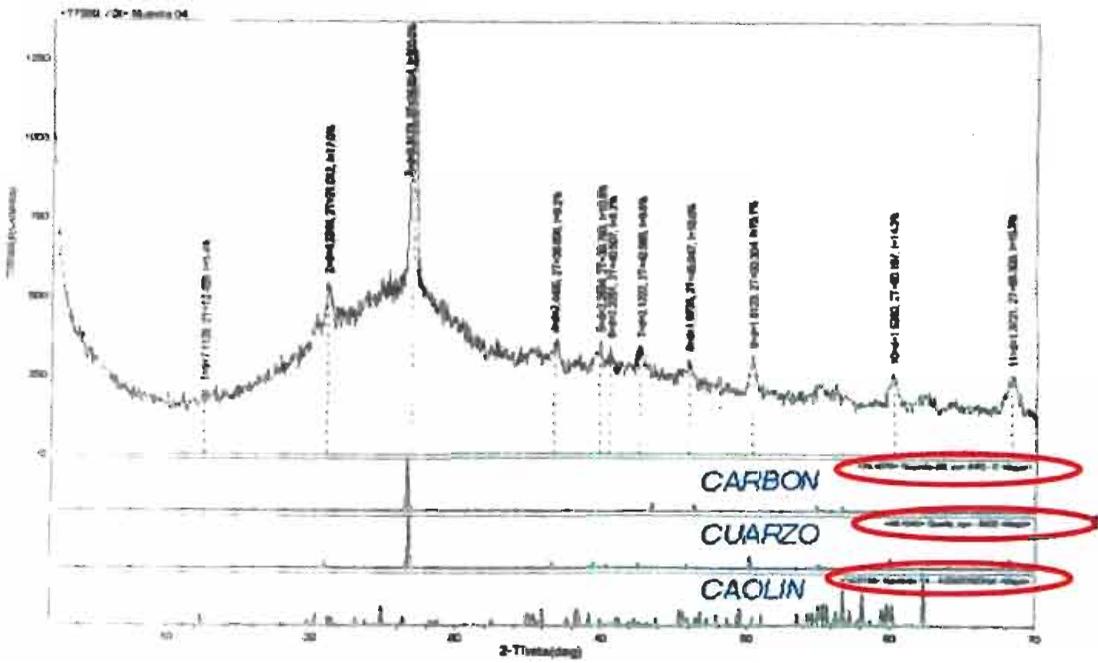


Figura. 5.11. Presencia de materia mineral en la muestra CM-04: (Cuarzo, Caolin)

{Elaborado: Centro Técnico Mineral (CETEM), BRASIL.}

CARBON MINERAL 05

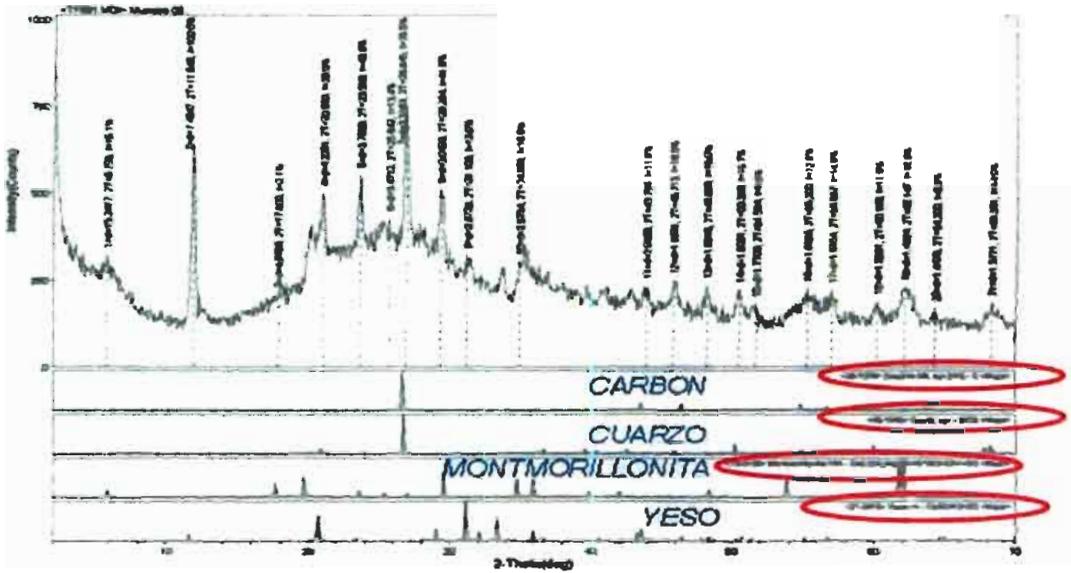


Figura. 5.12. Presencia de materia mineral en la muestra CM-05: (Yeso, Montmorillonita)
 {Elaborado: Centro Técnico Mineral (CETEM), BRASIL.}

5.4.2.- Análisis Petrográfico.

Los análisis petrográficos de 4 muestras de carbón mineral indican lo siguiente:

CM-01: Gran cantidad de material vegetal y arcilla

CM-03: Posee estructuras de plantas, pirita y arcilla por lo que se trata se una carbón Lignito – húmico, de composición vitrinitica.

CM-05: Su composición es vitrinitica y sugiere que su formación tuvo lugar en un ambiente húmico, existe la presencia de estructuras leñosas (exinita), típico de un carbón sub.-bituminoso.

CM-06: Su composición es vitrinitica y sugiere que su formación tuvo lugar en un ambiente húmico de formación; se observa la presencia de pirita, arcilla, y en mayor cantidad el yeso. La telinita se presenta en coloraciones gris claro y la caolinita se presenta en coloraciones gris oscuro estas dos ultima provienen de los restos leñosas

CAPITULO VI.

VI. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL CARBÓN MINERAL

6.1.- ANALISIS GRANULOMETRICO

a) Tratamiento del carbón mineral con ácido clorhídrico

CM- 01		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	56.9
18	1	81.03
50	0.3	86.21
fondo		100

Tabla 6.1. Análisis representativo de tamices CM-01-HCl

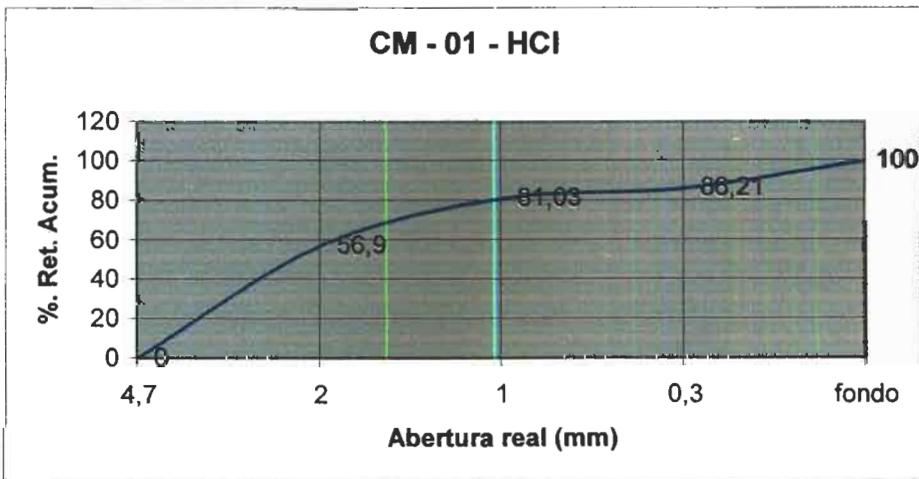


Figura 6.1. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-01-HCl

CM - 02		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	80,6
18	1	94,03
50	0,3	97,02
fondo		100

Tabla 6.2. Análisis representativo de tamices CM-02-HCI

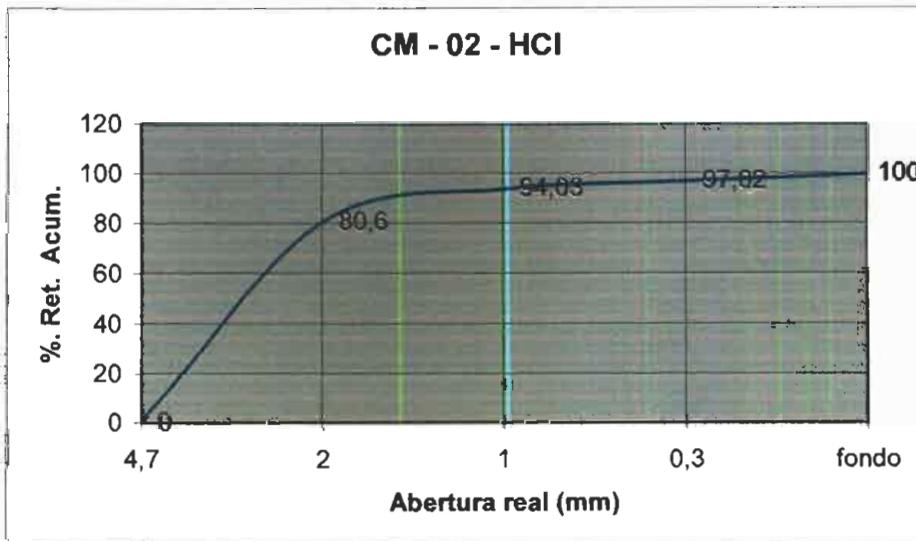


Figura 6.2. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-02-HCI

CM - 03		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	88.57
18	1	94.29
50	0.3	97.14
fondo		100

Tabla 6.3. Análisis representativo de tamices CM-03-HCI

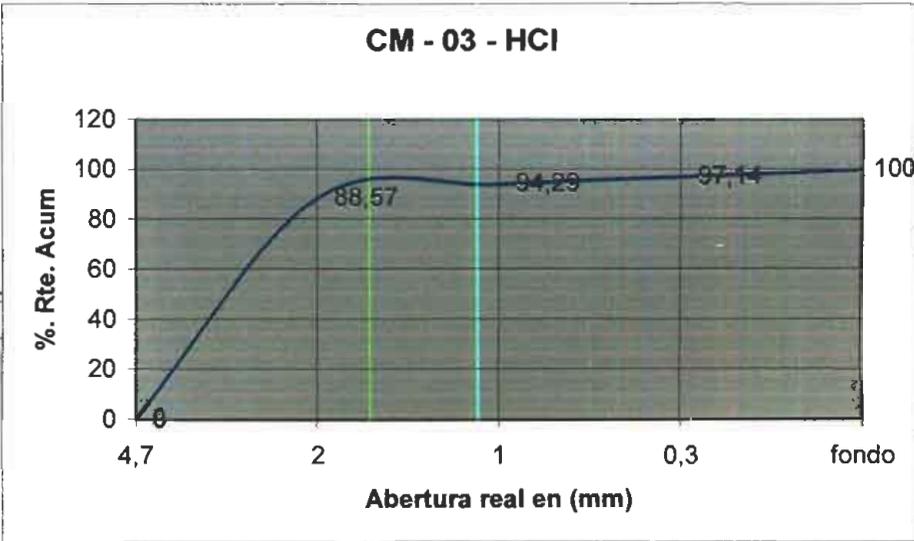


Figura 6.3. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-03-HCI

CM - 04		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	32.73
18	1	78.18
50	0.3	90.91
fondo		100

Tabla 6.4. Análisis representativo de tamices CM-04-HCl

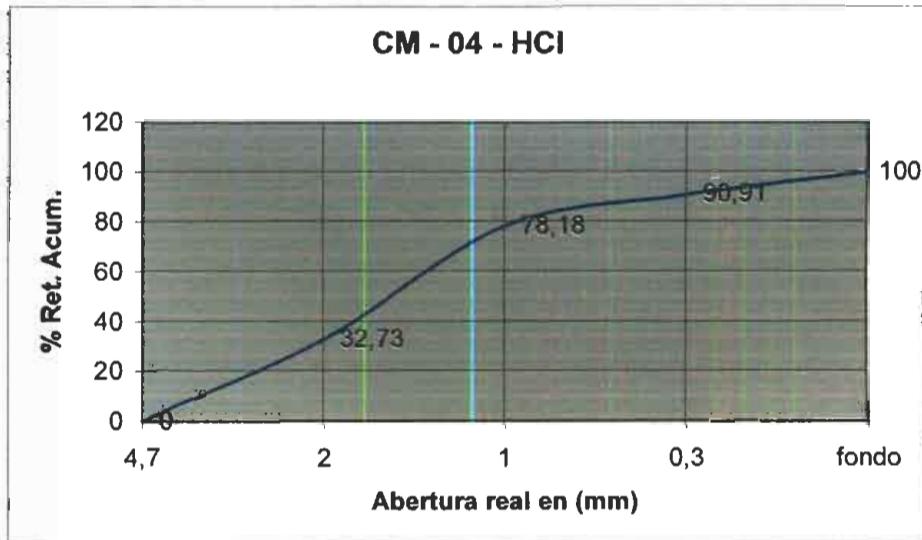


Figura 6.4. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-04-HCl

CM - 05		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	57.97
18	1	85.51
50	0.3	91.3
fondo		100

Tabla 6.5. Análisis representativo de tamices CM-05-HCI

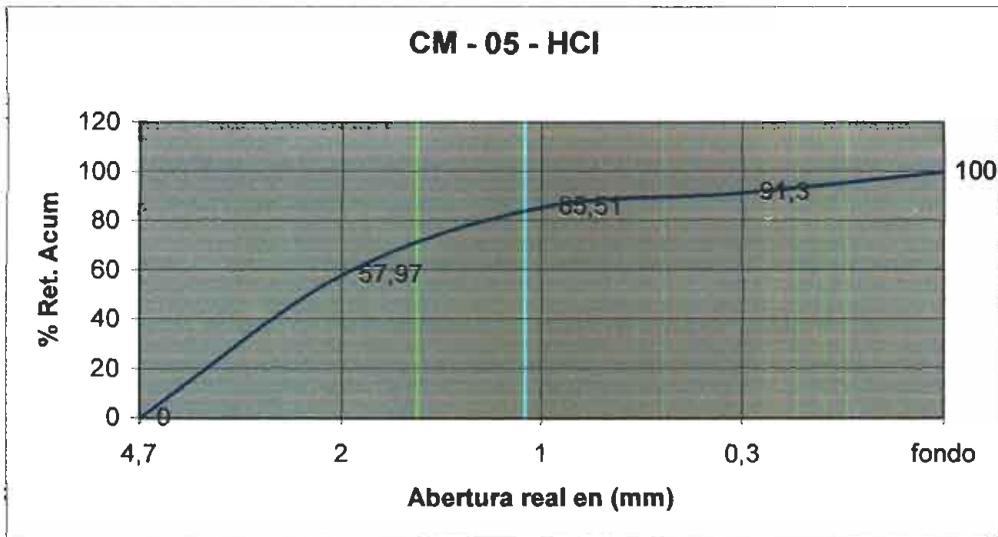


Figura 6.5. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-05-HCI

CM - 06		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	10.61
18	1	63.64
50	0.3	81.82
fondo		100

Tabla 6.6. Análisis representativo de tamices CM-06-HCl

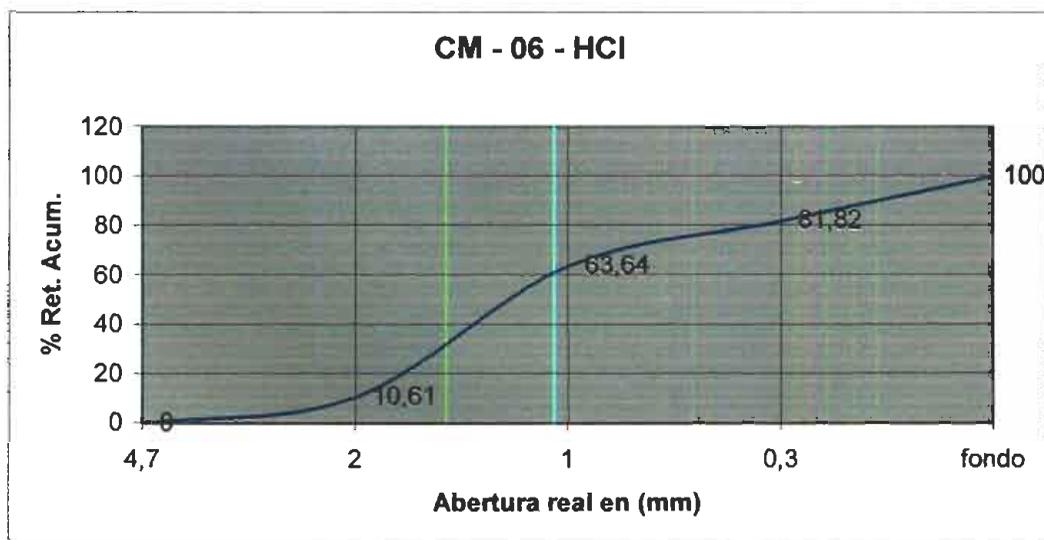


Figura 6.6. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-06-HCl

CM - 07		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	25
18	1	71.67
50	0.3	86.67
fondo		100

Tabla 6.7. Análisis representativo de tamices CM-07-HCl

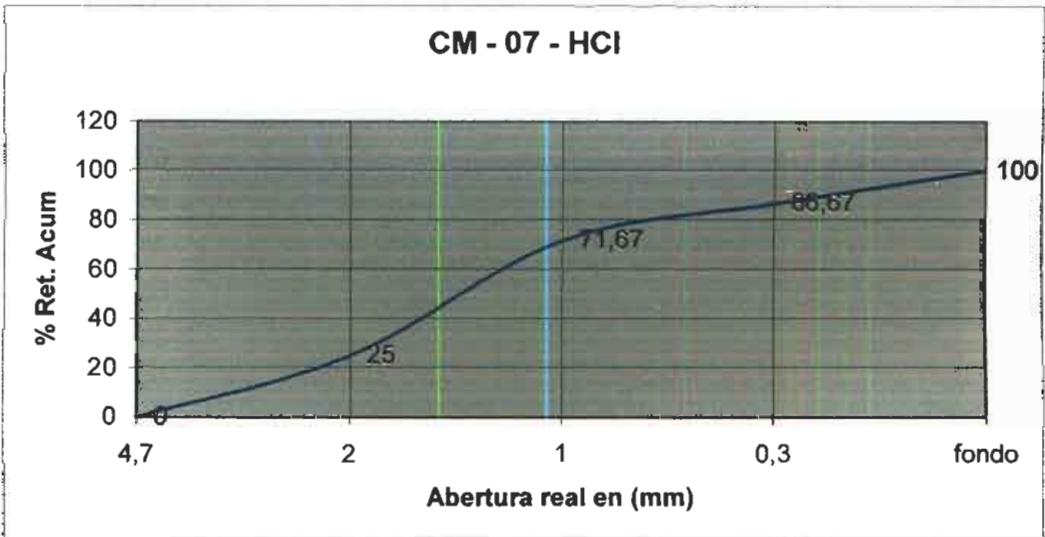
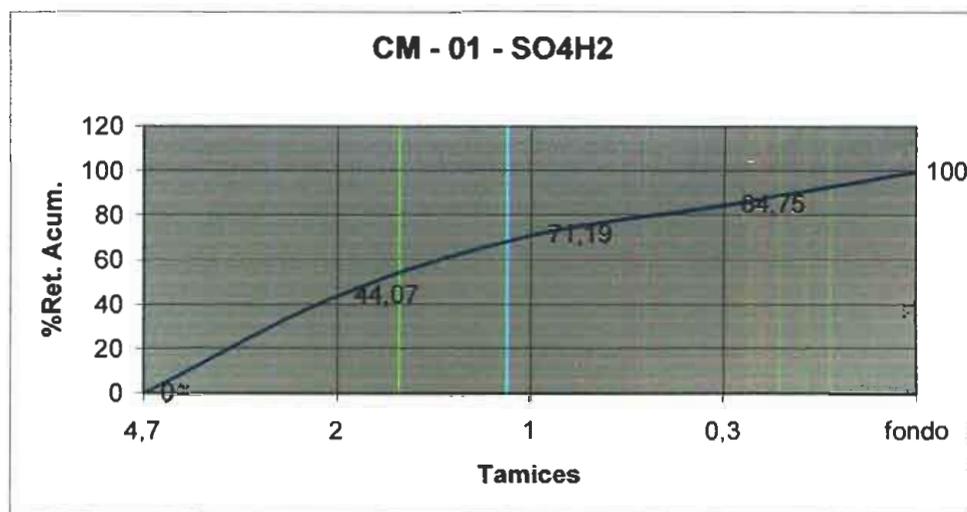


Figura 6.7. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-07-HCl

b) Tratamiento del carbón mineral con ácido sulfúrico.

CM- 01		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	44.07
18	1	71.19
50	0.3	84.75
fondo		100

Tabla 6.8. Análisis representativo de tamices CM-01- SO_4H_2 Figura 6.8. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-01 SO_4H_2

CM - 02		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	76.71
18	1	90.41
50	0.3	94.52
fondo		100

Tabla 6.9. Análisis representativo de tamices CM-02- SO_4H_2

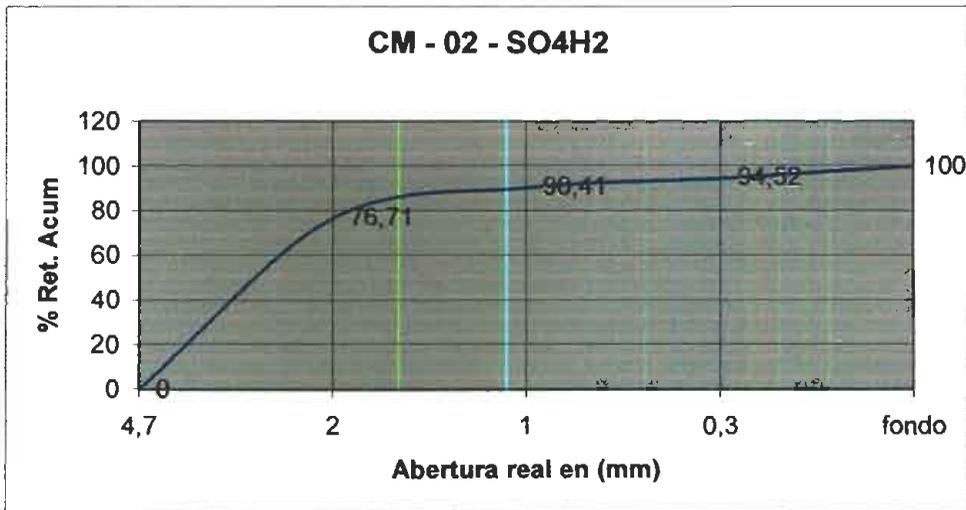


Figura 6.9. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-02 SO_4H_2

CM - 03		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	77.14
18	1	88.57
50	0.3	92.86
fondo		100

Tabla 6.10. Análisis representativo de tamices CM-03- SO₄H₂

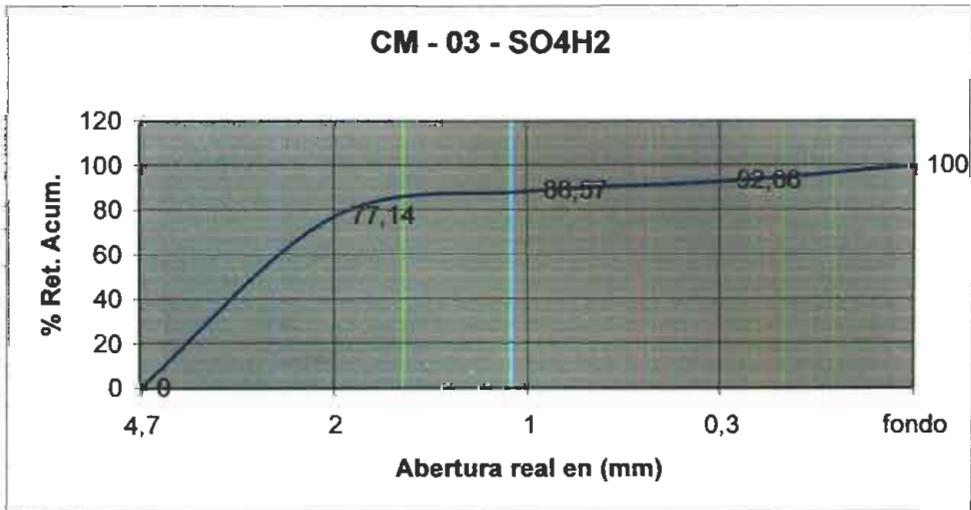


Figura 67.10. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de las muestras CM-03- SO₄H₂

CM - 04		
Tamiz	Díámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	30.88
18	1	77.94
50	0.3	89.71
fondo		100

Tabla 6.11. Análisis representativo de tamices CM-04- SO_4H_2

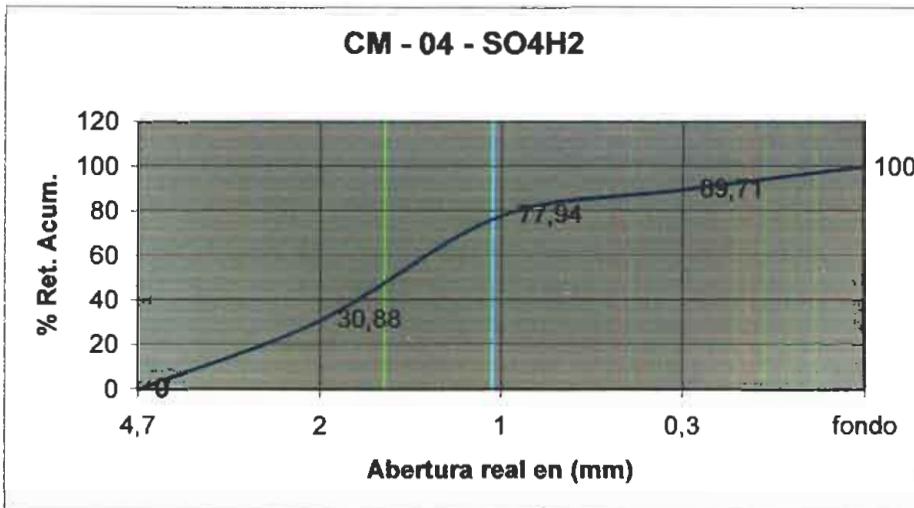


Figura 6.11. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-04 SO_4H_2

CM - 05		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	61.76
18	1	85.29
50	0.3	91.18
fondo		100

Tabla 6.12. Análisis representativo de tamices CM-05- SO_4H_2

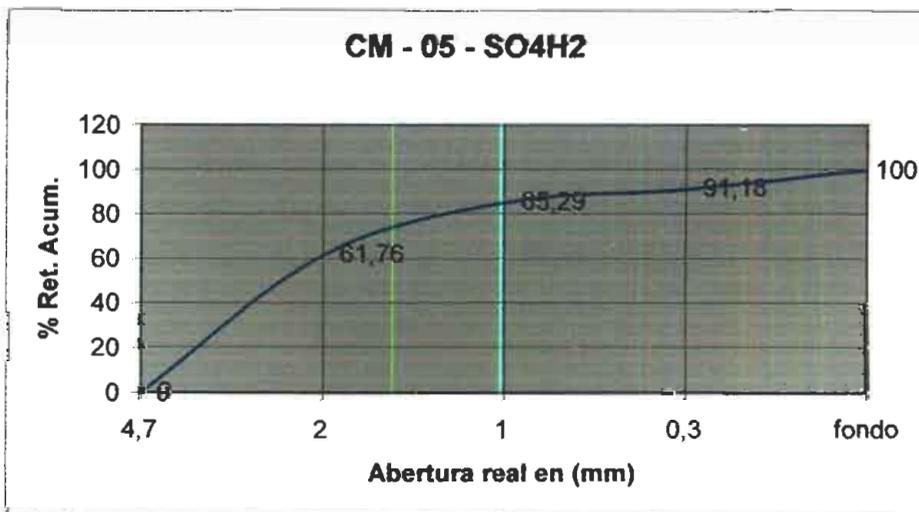


Figura 6.12. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-05 SO_4H_2

CM - 06		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	3.03
18	1	57.58
50	0.3	81.82
fondo		100

Tabla 6.13. Análisis representativo de tamices CM-06- SO_4H_2

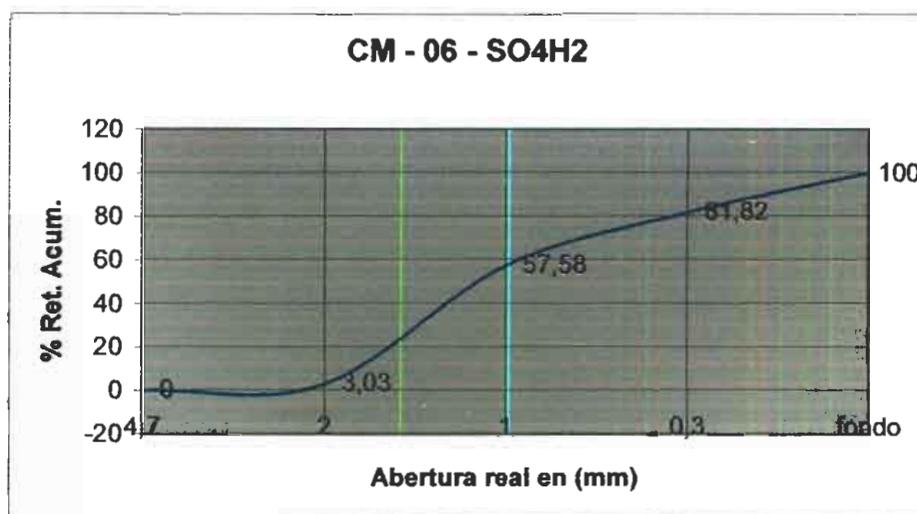


Figura 6.13. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-06 SO_4H_2

CM - 07		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	25
18	1	71.67
50	0.3	86.67
fondo		100

Tabla 6.14. Análisis representativo de tamices CM-07- SO_4H_2

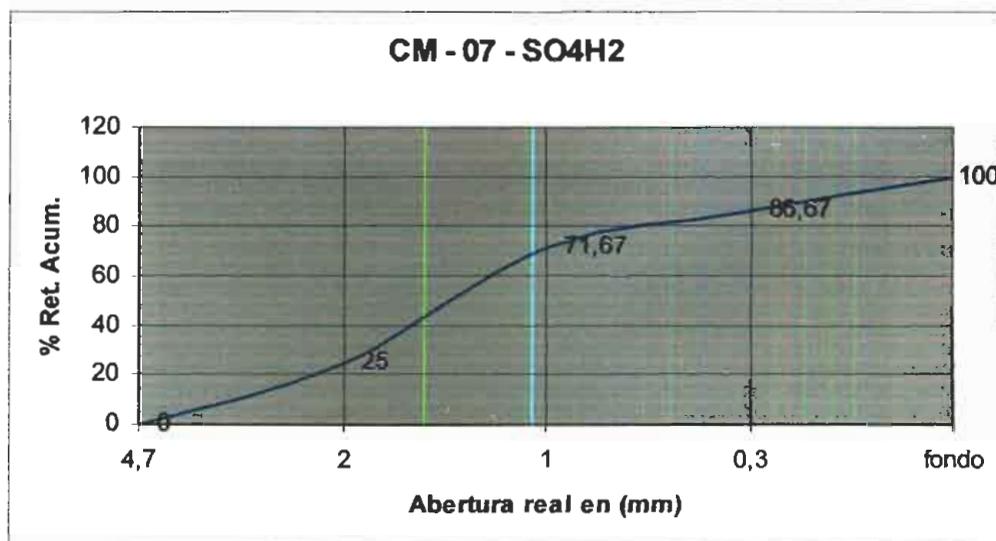


Figura 6.14. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-07 SO_4H_2

c) Tratamiento del carbón con hidróxido de sodio.

CM- 01		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	55.88
18	1	79.41
50	0.3	85.29
fondo		100

Tabla 6.15. Análisis representativo de tamices CM-01- Na(OH)

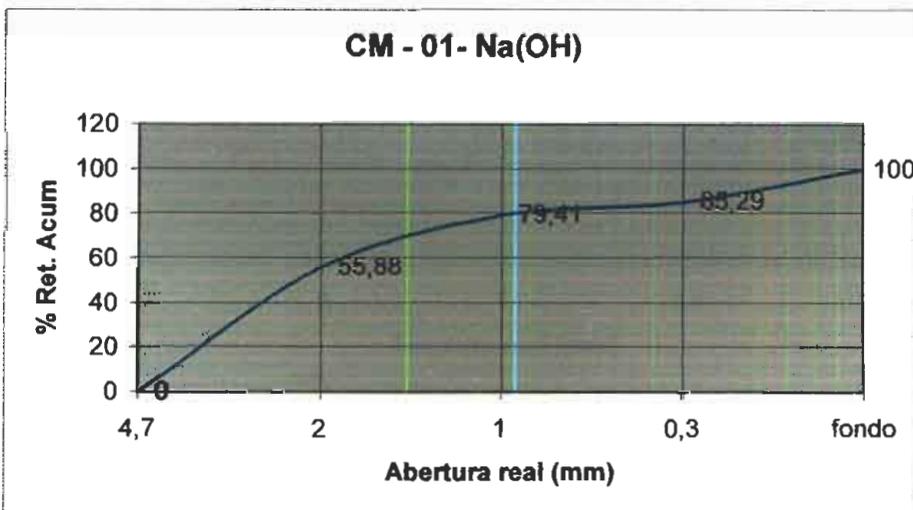


Figura 6.15. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-01- Na(OH)

CM - 02		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	81.08
18	1	86.49
50	0.3	95.95
fondo		100

Tabla 6.16. Análisis representativo de tamices CM-02- Na(OH)

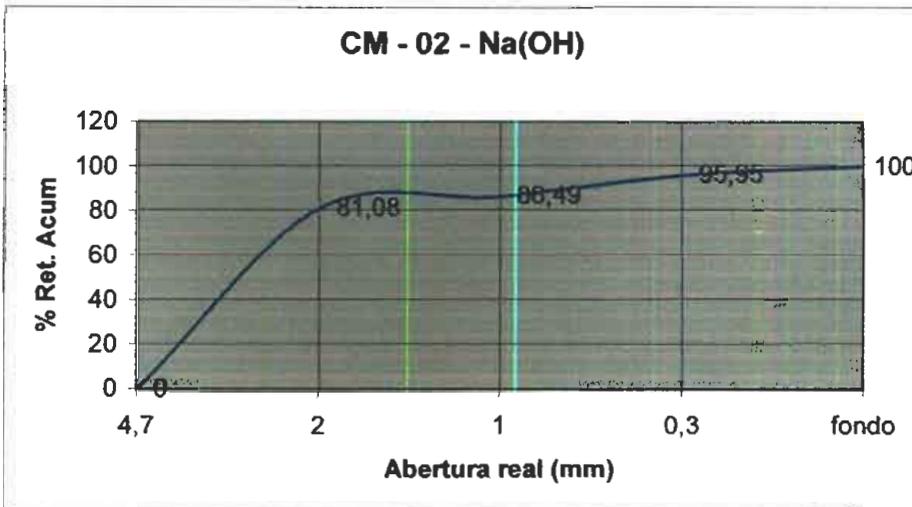


Figura 6.16. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-02- Na(OH)

CM - 03		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	82.86
18	1	94.29
50	0.3	97.14
fondo		100

Tabla 6.17. Análisis representativo de tamices CM-03- Na(OH)

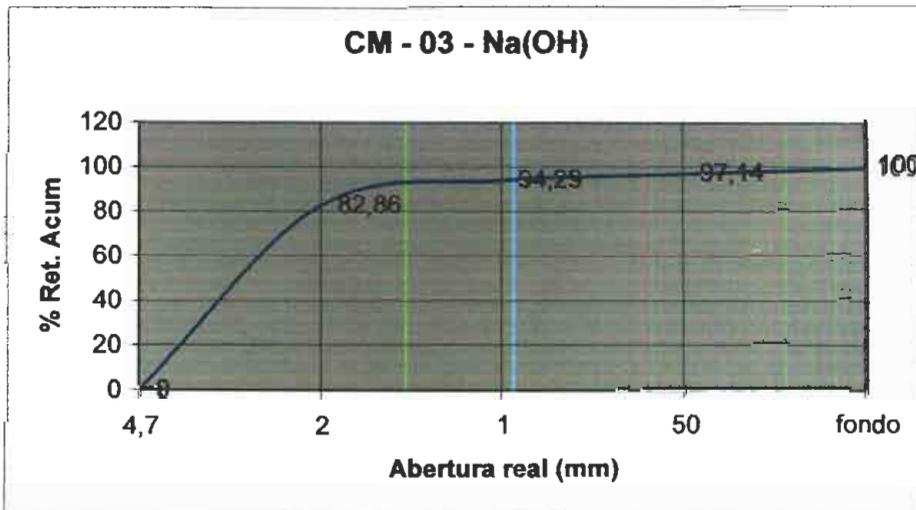


Figura 6.17. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-03- Na(OH)

CM - 04		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	29.09
18	1	72.73
50	0.3	90.91
fondo		100

Tabla 6.18. Análisis representativo de tamices CM-04- Na(OH)

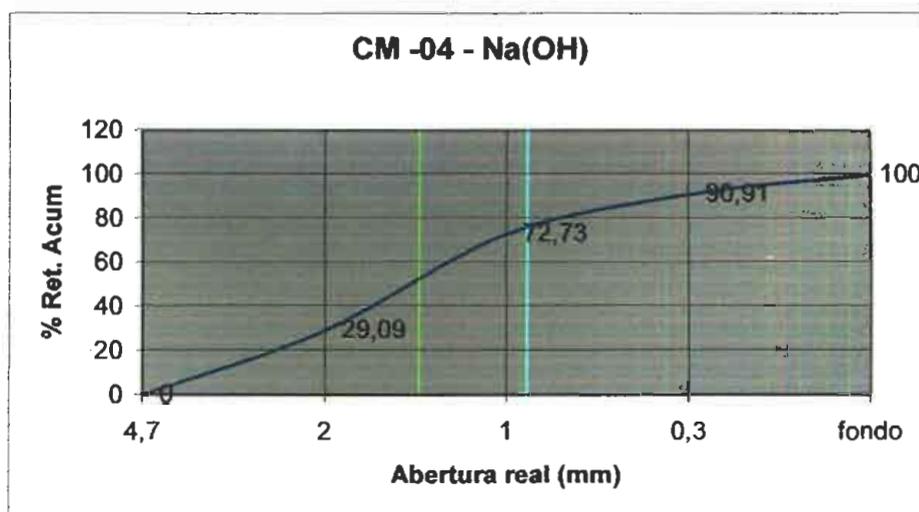


Figura 6.18. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-04- Na(OH)

CM - 05		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	66.2
18	1	85.92
50	0.3	91.55
fondo		100

Tabla 6.19. Análisis representativo de tamices CM-05- Na(OH)

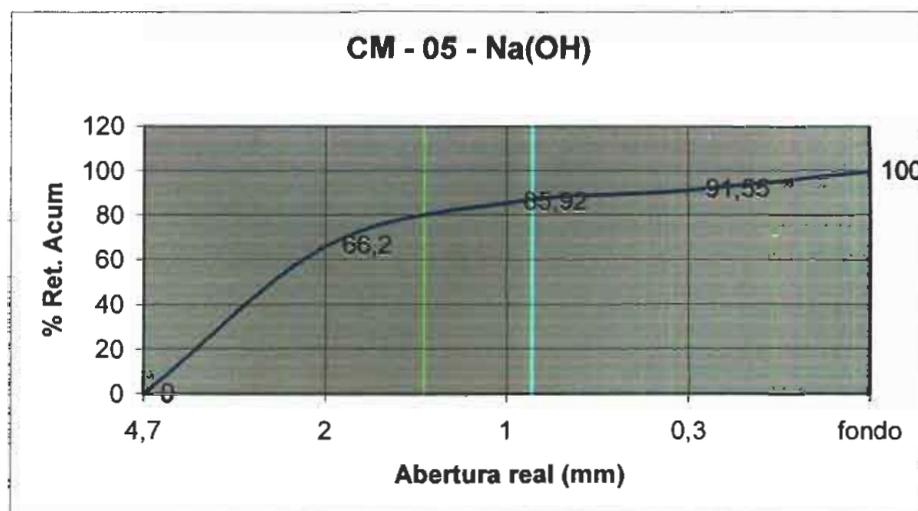


Figura 6.19. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-05- Na(OH)

CM - 06		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	31.94
18	1	76.39
50	0.3	86.11
fondo		100

Tabla 6.20. Análisis representativo de tamices CM-06- Na(OH)

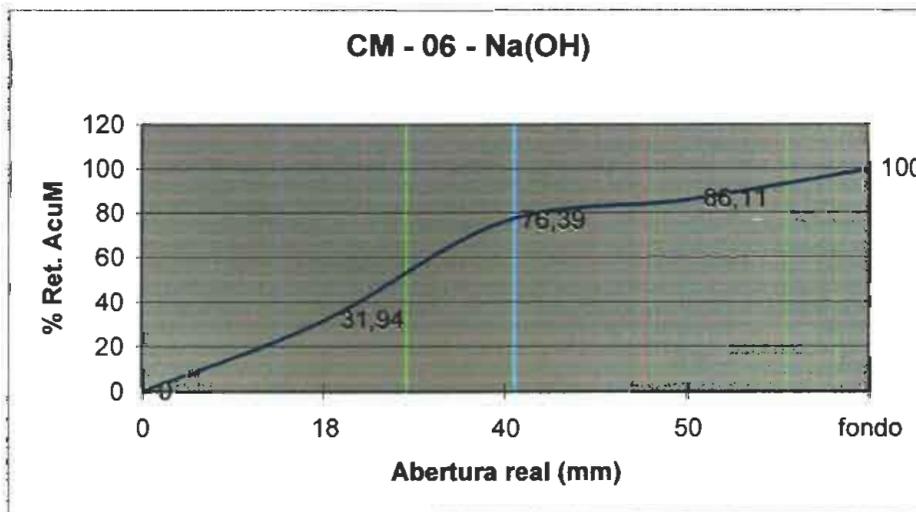


Figura 6.20. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-06- Na(OH)

CM - 07		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	28.13
18	1	75
50	0.3	90.63
fondo		100

Tabla 6.21. Análisis representativo de tamices CM-07- Na(OH)

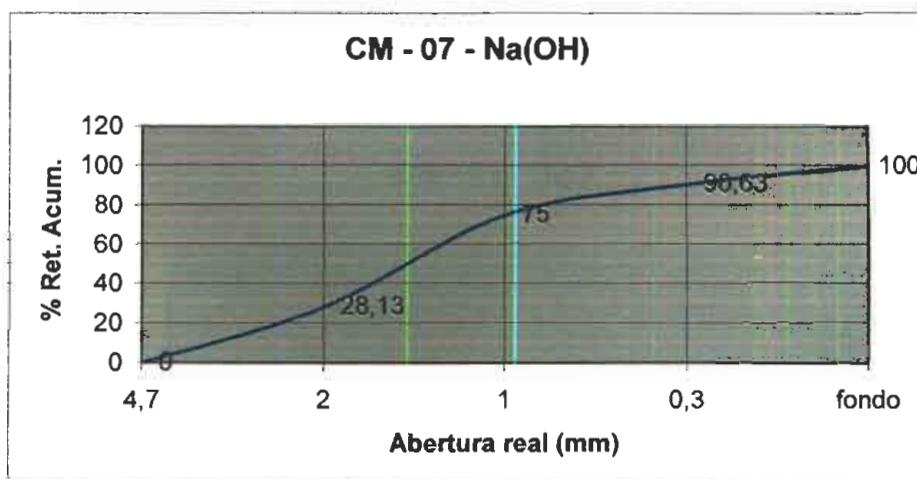
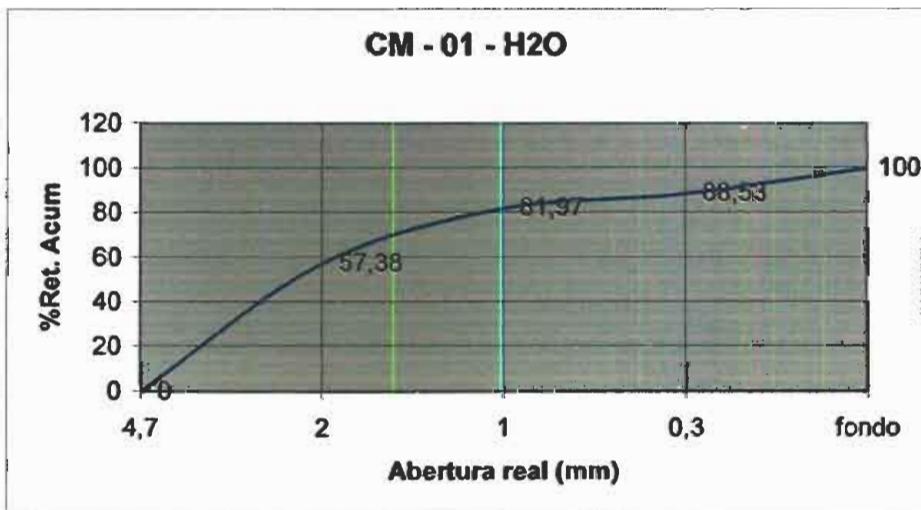


Figura 6.21. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-07- Na(OH)

d) Tratamiento del carbón mineral con agua.

CM- 01		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	57.38
18	1	81.97
50	0.3	88.53
fondo		100

Tabla 6.22. Análisis representativo de tamices CM-01- H₂OFigura 6.22. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestra CM-01- H₂O

CM - 02		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	82.149
18	1	94.52
50	0.3	97.26
fondo		100

Tabla 6.23. Análisis representativo de tamices CM-02- H₂O

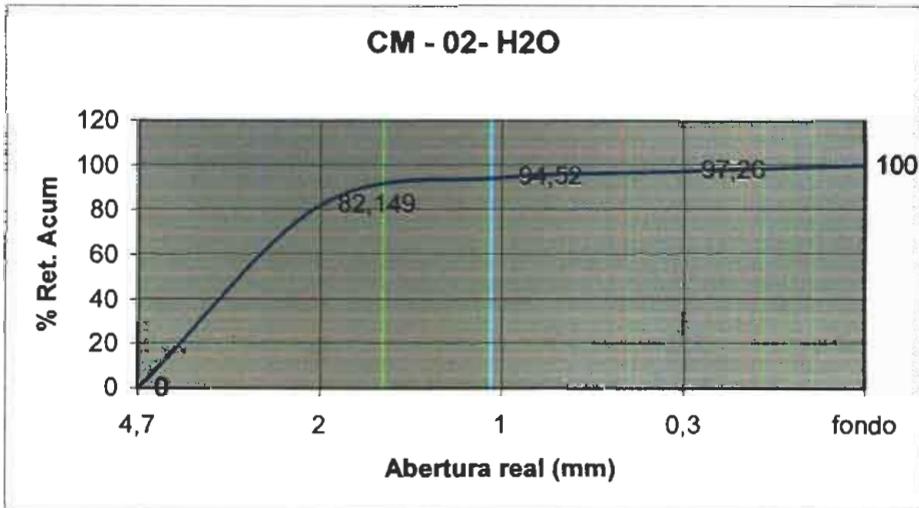


Figura 6.23. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-02- H₂O

CM - 03		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	81.69
18	1	91.55
50	0.3	94.37
fondo		100

Tabla 6.24. Análisis representativo de tamices CM-03- H₂O

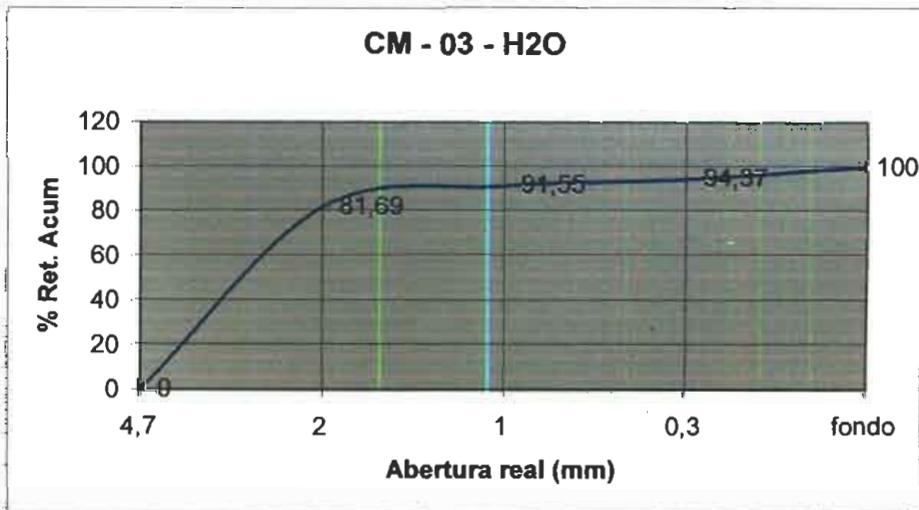


Figura 6.24. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-03- H₂O

CM - 04		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	29.63
18	1	74.07
50	0.3	88.89
fondo		100

Tabla 6.25. Análisis representativo de tamices CM-04- H₂O

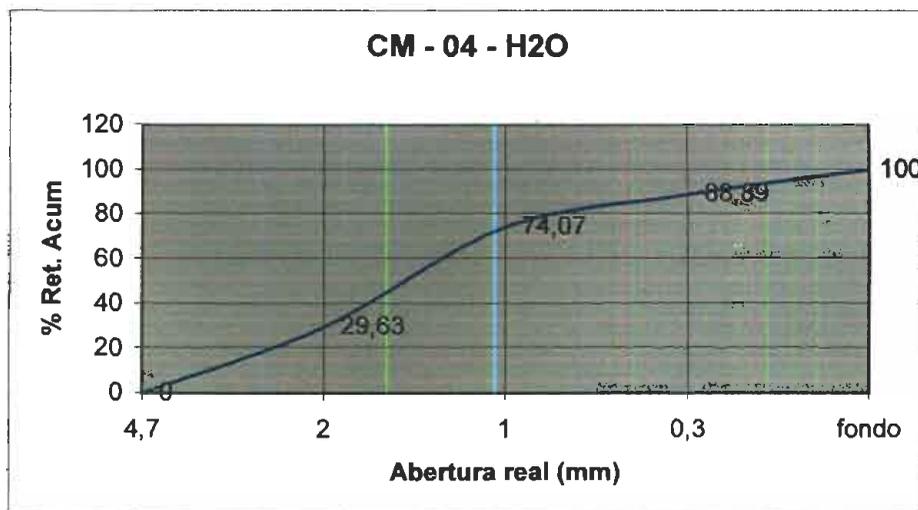


Figura 6.25. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-04- H₂O

CM - 05		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	64.79
18	1	85.92
50	0.3	91.5
fondo		100

Tabla 6.26. Análisis representativo de tamices CM-05- H₂O

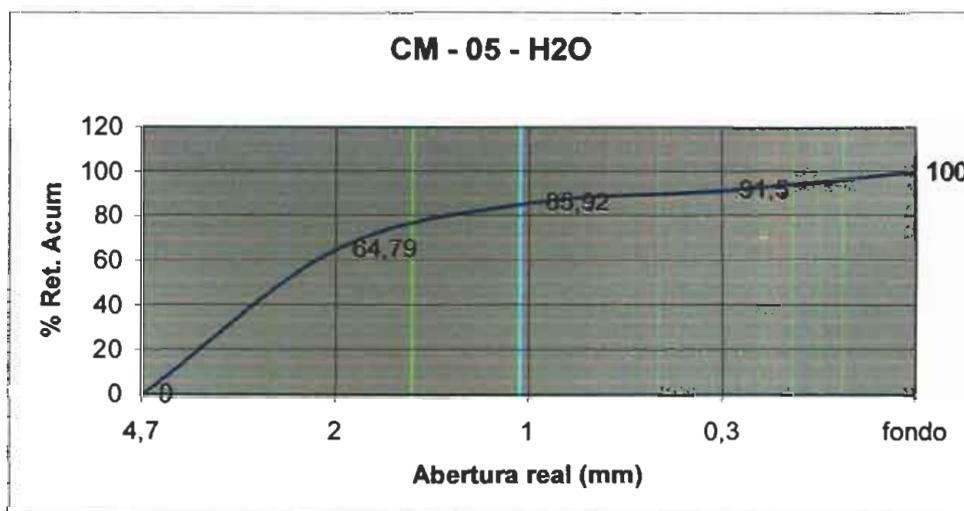


Figura 6.26. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-05- H₂O

CM - 06		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	15.63
18	1	62.5
50	0.3	79.69
fondo		100

Tabla 6.27. Análisis representativo de tamices CM-06- H₂O

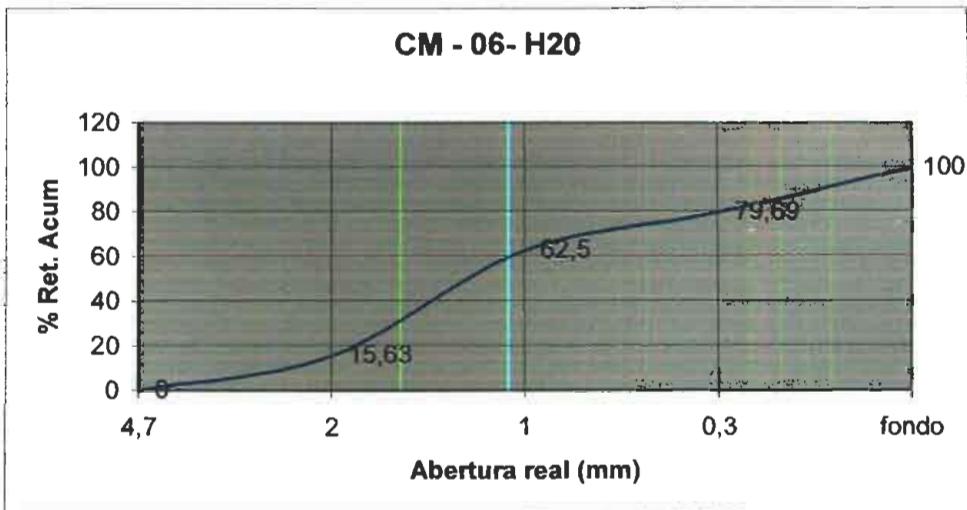


Figura 6.27. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-06- H₂O

CM - 07		
Tamiz	Diámetro Abertura (mm)	% Ret. Acum.
4	4,7	0
10	2	27.69
18	1	73.85
50	0.3	89.23
fondo		100

Tabla 6.28. Análisis representativo de tamices CM-07- H₂O

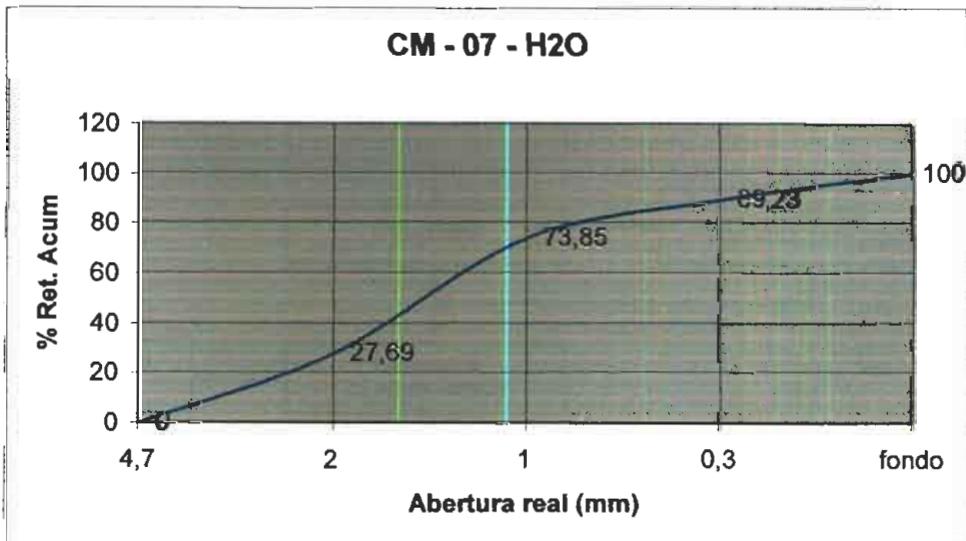


Figura 6.28. Representación gráfica de los datos de distribución de tamaños de la muestras CM-07- H₂O

6.2.- Análisis físico del carbón mineral

MUESTRAS	H ₂ O	HCl	SO ₄ H ₂	Na(OH)
CM-01	Café Amarillento	Café Marrón	Café Marrón	Café Claro
CM-02	Negro	Negro	Negro	Negro
CM-03	Plomo	Negro	Negro	Plomo Oscuro
CM-04	Gris Oscuro	Gris Oscuro	Gris Oscuro	Negro
CM-05	Plomo Claro	Gris Oscuro	Gris Oscuro	Gris Claro
CM-06	Gris	Gris Oscuro	Gris Oscuro	Plomo Oscuro
CM-07	Negro Claro	Negro	Negro	Negro Claro

Tabla 6.29. Colores de las muestras de carbón mineral tratada mineralúrgicamente

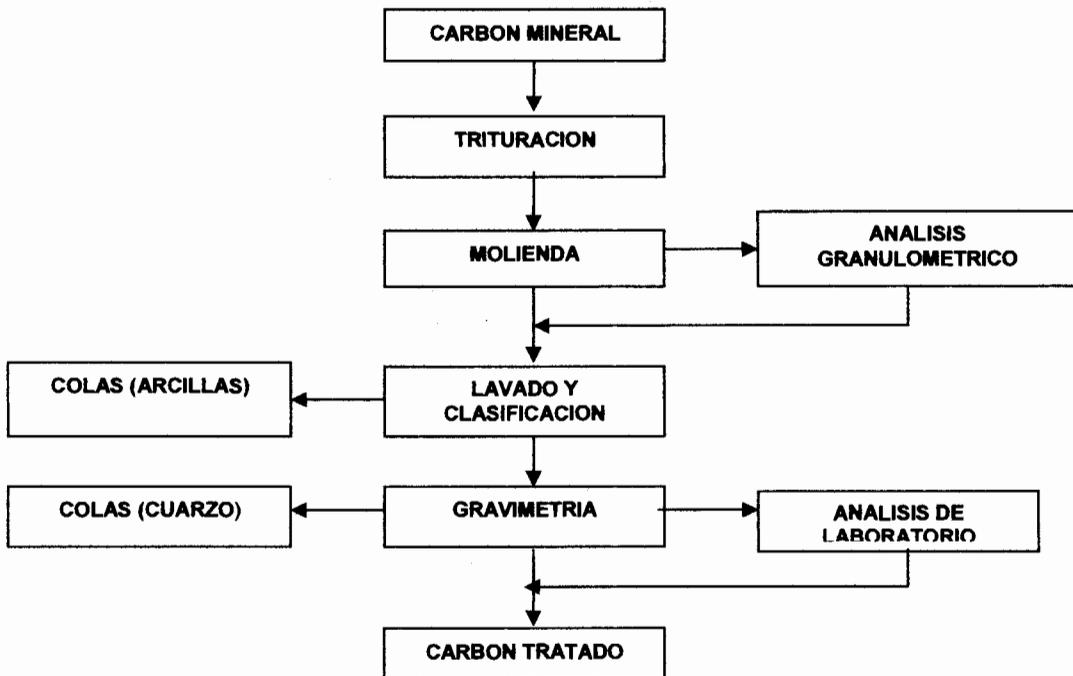


Figura 6.29. Propuesta del proceso mineralúrgico para el mejoramiento físico del carbón mineral

6.3.- Análisis Químico del carbón mineral

6.3.1.- Análisis Inmediato de las muestras del carbón mineral

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 01	40.5	41	41	44
450 °C		30.5	30	31	39
1200 °C		30	30	29.5	34

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 02	48	47	48	48
450 °C		44.5	45	45	45
1200 °C		44	42.5	43.5	43

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 03	47	47.5	48	46.5
450 °C		44	45	44.8	43
1200 °C		43	42.5	43	41.5

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 04	43	45	44.5	42
450 °C		38.5	38.5	41	41
1200 °C		37.5	38	39.5	39

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 05	41	44	45	42
450 °C		37.5	39	39	41
1200 °C		37.5	38.5	39	38

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 06	42.5	46.5	44	40
450 °C		38.5	41	40	39.5
1200 °C		38	39.5	40	37

Temp.	Muestra	HCl	H ₂ SO ₄	Na(OH) ₂	H ₂ O
110 °C	CM - 07	46.5	47	47	48
450 °C		42	42.5	42	45
1200 °C		41	41	41.5	42.5

Tabla 6.30. Pesos de las muestras de carbón mineral a diferentes temperaturas.
La muestra patrón es: (0 °C = 50 gr.)

MUESTRA	HUMEDAD (%)	MATERIA VOLATIL (%)	CENIZA (%)	CARBON FIJO (%)
CM - 01	19	24.69	25.93	30.38
CM - 02	4	7.29	8.33	80.38
CM - 03	6	6.38	8.51	79.11
CM - 04	14	10.46	12.79	66.83
CM - 05	18	8.54	8.53	64.93
CM - 06	15	9.41	10.58	65.01
CM - 07	7	9.68	11.53	71.49

Tabla 6.31. Análisis Inmediato de los porcentajes de pesos de las muestras de carbón mineral tratada con HCl

MUESTRA	HUMEDAD (%)	MATERIA VOLATIL (%)	CENIZA (%)	CARBON FIJO (%)
CM - 01	18	26.83	26.83	28.34
CM - 02	6	4.26	9.58	80.16
CM - 03	5	5.26	10.53	79.21
CM - 04	9	15.38	16.48	59.14
CM - 05	12	11.36	12.5	64.14
CM - 06	7	11.83	15.05	66.17
CM - 07	6	9.57	12.76	71.67

Tabla 6.32. Análisis Inmediato de los porcentajes de pesos de las muestras de carbón mineral tratada con SO_4H_2 .

MUESTRA	HUMEDAD (%)	MATERIA VOLATIL (%)	CENIZA (%)	CARBON FIJO (%)
CM - 01	18	24.39	28.05	29.56
CM - 02	4	6.25	9.38	80.37
CM - 03	4	7.29	10.42	78.29
CM - 04	11	7.87	11.42	69.89
CM - 05	10	13.33	13.33	63.34
CM - 06	12	9.09	9.09	69.82
CM - 07	6	10.63	11.7	71.67

Tabla 6.33. Análisis Inmediato de los porcentajes de pesos de las muestras de carbón mineral tratada con Na(OH)

MUESTRA	HUMEDAD (%)	MATERIA VOLATIL (%)	CENIZA (%)	CARBON FIJO (%)
CM - 01	12	6.82	11.36	69.82
CM - 02	4	6.25	10.42	79.33
CM - 03	7	4.44	10.75	77.81
CM - 04	16	2.38	7.14	74.48
CM - 05	16	2.38	9.52	72.1
CM - 06	20	1.25	7.5	71.25
CM - 07	4	6.25	11.45	75.17

Tabla 6.34 Análisis Inmediato de los porcentajes de pesos de las muestras de carbón mineral tratada con H₂O.

MUESTRA	HCl (%)	SO ₄ H ₂ (%)	Na(OH) (%)	H ₂ O (%)
CM - 01	55.6	62.4	65.2	26.4
CM - 02	69.4	79.8	78.2	86.8
CM - 03	60.8	75.2	74.4	76.8
CM - 04	49.2	63.4	43.9	27.5
CM - 05	29.4	43.1	46	32.8
CM - 06	37.8	53.75	32.5	26.8
CM - 07	72.1	79.75	73.1	71.6

Tabla 6.35. Análisis Inmediato de los porcentajes de la eliminación de Cenizas.

6.3.2.- Análisis Elemental del carbón mineral

BASE RECIBIDA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
CARBONO (%)	59.90	56.86	62.29	60.34
HIDROGENO (%)	5.46	5.11	5.74	5.43
NITROGENO (%)	0.72	0.76	0.76	0.54
AZUFRE (%)	3.95	3.70	4.08	3.14
OXIGENO (%)	3.82	4.58	1.47	1.50
BASE SECA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
CARBONO (%)	60.80	57.60	63.08	61.28
HIDROGENO (%)	5.54	5.18	5.81	5.52
NITROGENO (%)	0.73	0.78	0.78	0.55
AZUFRE (%)	4.00	3.75	4.13	3.19
OXIGENO (%)	3.73	4.52	1.35	1.40
BASE HUMEDA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
CARBONO (%)	60.42	57.18	0.65	60.90
HIDROGENO (%)	5.51	5.13	62.67	5.49
NITROGENO (%)	0.73	0.77	5.77	0.55
AZUFRE (%)	3.98	3.73	0.77	3.17
OXIGENO (%)	3.76	4.48	1.33	1.31

Tabla 6.36. Análisis elemental de la muestras de carbón mineral CM - 02 tratada

6.3.3.- Poder Calorífico del carbón mineral.

BASE RECIBIDA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
PODER CALORIFICO Kcal/kg.				
Superior	6.065	5.308	6.772	6.110
Inferior	5.783	5.045	6.477	5.830
PODER CALORIFICO KJ/KG.				
Superior	25.392	22.223	28.355	25.580
Inferior	24.214	21.123	27.118	24.408
BASE SECA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
PODER CALORIFICO Kcal/kg.				
Superior	6.155	5.377	6.858	6.205
Inferior	5.870	5.111	6.559	5.920
PODER CALORIFICO KJ/KG.				
Superior	25.771	22.512	28.714	25.978
Inferior	24.575	21.397	27.461	24.787
BASE HUMEDA				
MUESTRA CM - 02	INICIAL	HCl	SO₄H₂	Na (OH)
PODER CALORIFICO Kcal/kg.				
Superior	6.117	5.337	6.814	6.166
Inferior	5.833	5.073	6.516	5.884
PODER CALORIFICO KJ/KG.				
Superior	25.611	22.347	28.527	25.817
Inferior	24.423	21.241	27.283	24.633

Tabla 6.37. Poder calorífico de la muestra de carbón mineral CM - 02 tratada

**6.4.- Resultados de la eliminación de cenizas del carbón mineral
con tratamiento y sin tratamiento.**

MUESTRA	SIN TRATAMIENTO	CON TRATAMIENTO			
	Inicial (%)	HCl (%)	SO ₄ H ₂ (%)	Na(OH) (%)	H ₂ O (%)
CM - 01	43	23.95	26.83	28.05	11.36
CM - 02	12	8.33	8.58	9.38	10.42
CM - 03	14	8.51	10.53	10.42	10.75
CM - 04	26	12.79	16.48	11.42	7.14
CM - 05	29	8.53	12.50	13.33	9.52
CM - 06	28	10.58	15.05	9.09	7.50
CM - 07	16	11.53	12.76	11.70	11.45

Tabla 6.38. Análisis comparativo de la eliminación de cenizas del carbón mineral.

CAPITULO VII.
VII. CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.

1.- Los resultados de los análisis: Físico, químico y mineralógico (difractometría de rayos X), petrográfico y poder calorífico, de las muestras de carbón mineral de los diferentes afloramientos hasta hoy conocidos en el Ecuador, indican que éstos son del tipo:

turba, lignito, sub-bituminoso y bituminoso.

2.- Los difractogramas identifica la composición mineralógica del material inorgánico está compuesto de: cuarzo, yeso, pirita, marcasita y arcillas tales como: (***caolín, illita, montmorillonita***), de acuerdo a los resultados obtenidos de los difractogramas de rayos X.

3.- El elevado contenido de cenizas en los carbones hace necesario realizar un tratamiento mineralúrgico con el fin de mejorar la calidad de los mismos.

4.- La molienda del carbón con un d80 entre 3mm y 300um y el lavado con agua y un pH ácido, permite eliminar el 85% de las cenizas, utilizando un tromel y un jig. Se realiza el lava con agua cuando las cenizas del carbón tienen predominantemente el cuarzo y arcillas y se emplea el lavado con ácido clorhídrico (pH 4) cuando existe la presencia de cuarzo, arcillas, yeso y materiales orgánicos.

- 5.- Es necesario someter al carbón mineral a un tratamiento térmico a fin de eliminar los volátiles, antes de utilizarlo en la elaboración de briquetas.

- 6.- Se recomienda determinar el proceso del tratamiento térmico y cuantificar el mejoramiento del carbón antes de su uso como briquetas.

CAPITULO VIII.

VIII. APENDICES.

APENDICE DE FOTOGRAFIAS



Foto.1. Afloramiento Baños-Puyo



Foto.2. Afloramiento vía Jondachi



Foto.3 Afloramiento unión de los ríos Grande y Chico (Napó)



Foto.4 Afloramiento unión de los ríos Hollín Hollín Grande y Chico (Napó)



Foto.5. Manto de carbón mineral- Loja



Foto 6. Afloramiento Malacatos-Merced



Foto.7. Panorámica Cojitambo-Cañar



Foto.8. Cantera Jondachi



Foto.9. Escombro cantera Jondachi



Foto.10. Panorámica cascada río Chico-Napo



Foto. 11. Muestra de Carbón .



Foto.12. Equipo de cuarteo



Foto.13. Cuarteo de muestras cuarteadas



Foto.14. Equipo de trituración



Foto.15. Trituración de muestras



Foto.16. Equipo de molienda



Foto.17. Molino de Rodillo



Foto.18. Equipo de tamizado "RO TAP"



Foto.19. Carga de muestra al Rotap



Foto.20. Tamizado de muestras



Foto.21. Clasificación de muestras



Foto.22. Balanza A.VANDONI



Foto.23. Pesado de las muestras



Foto.24. Equipo microcortadora



Foto.25. Equipo cortador



Foto.26. Equipo de seguridad



Foto.27. Equipo de pulido (petrográfico)



Foto.28. Reactivos



Foto.29. Pulido manual de laminas delgadas



Foto.30. Equipo de pulido

TIPOS DE CARBON MINERAL (Fotos de internet)



Foto.31. Antracita



Foto.32. Carbón Sub-bituminoso



Foto.33. Carbón Bituminoso



Foto.34. Briqueta de Carbón Mineral



Foto.35. Tipos de Carbón mineral

CAPITULO IX.

**IX. REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS.**

-
- **[1]** United National Development Program (1969).- Operación I, coal and hidrocarbons.- DGGM.- Quito-Ecuador.
 - **[2]** Dirección General de Geología y Minas (1974).- Hojas geológicas Azogues y Gualaceo, escala 1: 50.000.
 - **[3]** OLADE (1981).- Metodología para la exploración y uso térmico del carbón. Bogota-Colombia.
 - **[4]** Álvarez C., Arroyo B., Sosa J. (1985).- Posibilidades carboníferas del Ecuador.- Instituto Nacional de Energía.- Quito-Ecuador.
 - **[5]** Egüez M., Aguayo S., Medina G., López P. (1987).- Identificación de los carbones en el Ecuador y su futura utilización.- ESPOL.- Guayaquil-Ecuador.
 - **[6]** Montenegro G., Medina G. (1987).- Estudio petrográfico de 9 muestras de carbones ecuatorianos.- ESPOL.- Guayaquil-Ecuador.
 - **[7]** World Coal Institute (2004).- www.wci.coal.com.- Londres-Reino Unido.
 - **[8]** Coal News and Markets (2004). - www.eia.doe.gov.- Washington DC-USA.

-
- **[9]** Alberto E. J. Fesquet, "La combustión". El mundo de la física y la vida.

 - **[10]** Los carbones de Malacatos Loja.- Misión Geológica Minera Franco Ecuatoriana.- DGGM.- Quito (1959).

 - **[11]** Aguayo, S. E., (1976). Los yacimientos de carbón en el Ecuador, Revista Tecnológica, ESPOL, Guayaquil, pag. # 4.

 - **[12]** Aguayo, S. E., (1978). El carbón como fuente alterna de energía en el Ecuador, Revista Tecnológica, ESPOL, Guayaquil, pag # 46-47.