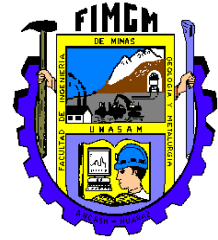




**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,  
GEOLOGIA Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TRABAJO DE INVESTIGACION**

**INCREMENTO DEL PODER CALORIFICO DE LOS MINERALES  
DE CARBÓN ANTRACITA DEL DEPARTAMENTO DE ANCASH  
MEDIANTE LA TECNICA DE FLOTACIÓN DIFERENCIAL - 2016**

**INVESTIGADORES**

**RESPONSABLE:**

**ING. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**

**CO-RESPONSABLES:**

**Dr. ING. JULIO GREGORIO POTERICO HUAMAYALI**

**Msc. ING. GUSTAVO OBERTO BOJOQUEZ HUERTA**

**MBA. LIC. LOURDES LIZ HUAMAN ROMERO**

Huaraz - Peru

2017

## INDICE

Resumen

Abstract

I.	INTRODUCCIÓN	5
	1.1 Objetivos	6
II.	MARCO TEÓRICO	7
	2.1 Antecedentes	8
	2.2 El carbón Mineral	7
	2.3 Tipos de carbón	8
	2.4 Clasificación del carbón	8
	2.5 Análisis químico de carbón	9
	2.6 Poder calorífico	9
	2.7 Clases de carbón	9
	2.8 Beneficio	11
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
	3.1. Tipo y diseño de Investigación	21
	3.2. Plan de recolección de la información	21
	3.3 Instrumentos de recolección de la información	22
IV.	RESULTADOS	23
V.	DISCUSIÓN	34
VI.	CONCLUSIONES	26
VII.	RECOMENDACIONES	37
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38
	ANEXOS	

## RESUMEN

La presente investigación permite introducir dentro de la cadena de valor del sector no metálico de carbón la actividad primaria de beneficio (procesamiento de Minerales mediante la flotación diferencial) de uso generalizado en la minería metálica con la finalidad de incrementar el poder calorífico de los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash, las tendencias actuales y futuras exigen comercializar productos con mayor valor agregado que permite la mejora de la rentabilidad de las operaciones no metálicas de carbón.

Se presenta detalladamente el procesamiento y análisis de los datos utilizando el análisis antes y después del empleo de la técnica de flotación diferencial, cuyos Parámetros técnicos como son, el porcentaje de ceniza, Carbón fijo y poder calorífico; para determinar si existen diferencias significativas se utilizó la prueba estadística t-student, con un nivel de significación del 5%.

Finalmente, se presentan los resultados referentes a los parámetros técnicos de la del carbón antracita, llegando a concluir que es factible el empleo de la flotación diferencial para el tratamiento de minerales de carbón del tipo antracita que mejora de manera notable el poder calorífico.

**Palabras clave:** Flotación diferencial, cenizas, Carbón fijo, Poder calorífico

## **ABSTRACT**

This research let to introduce within the value chain of the nonmetallic coal area to the primary sector activity (Minerals processing by differential flotation) of general using in the metallic mining with the purpose of increasing the calorific power of the Coal anthracite minerals in Ancash department, current and future trends demand to market products with greatest added value that allows improvement of the profitability of non-metallic coal operations.

The data processing and analysis is presented in detail using the differential flotation technique in the before and after, whose technical parameters are: ash percentage, fixed coal and calorific power; to determine if there were significant differences was used the statistical test t-student, with 5% values significance.

Finally, show the technical parameters results of anthracite coal, we are concluding that is feasible to use the differential flotation for the treatment of anthracite coal minerals that significantly improves the calorific power.

Keyword

Differential float, ashes, fixed coal, calorific power

## I. INTRODUCCION

El presente proyecto de investigación, realiza el análisis y determina la relación que existe entre el beneficio de los minerales no metálicos de carbón y el poder calorífico en los yacimientos ubicados en el departamento de Ancash, uno de los objetivos es proponer a los productores de este combustible fósil comercializar sus minerales con mayor valor, el cual será cuantificado mediante los parámetros técnicos de flotación y parámetros de los minerales de carbón, como son el nivel de cenizas, volátiles, azufre, carbón fijo, y poder calorífico.

El carbón es uno de los recursos importantes a nivel mundial, el 75% de la producción energética está representado por este combustible fósil, para la fabricación del acero, interviene para mejorar las propiedades mecánicas, hasta la fecha no existe un combustible barato para la producción de cemento a nivel mundial.

El instituto geológico minero metalúrgico INGEMMET, realizó estudios con la finalidad de determinar el potencial de este recurso no metálico en el Perú, en la cual el departamento de Ancash, La libertad y Lima son los que poseen la mayor cantidad de reservas, en el departamento Ancash, las provincias de Yungay, Huaylas, Sihuas, Huari y Pampas Grande son las zonas de mayor actividad minera no metálica cuya explotación en su gran mayoría son a nivel artesanal.

Para el sector carbonífero nacional las actividades primarias en la cadena de valor están representadas por logística interna, exploración, explotación, logística externa y comercialización, notándose que no se cuenta con el eslabón de beneficio en las actividades primarias.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### **Objetivo general.**

Incrementar el poder calorífico de los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash mediante la técnica de flotación diferencial.

### **Objetivos específicos**

- Reducir el nivel de cenizas de los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash mediante la técnica de flotación diferencial
- Incrementar el valor comercial de los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash.

### **Variables**

- **Variable Independiente**  
Flotación diferencial
- **Variable Dependiente**  
Poder calorífico

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación.

**Barza, Mejía (2009)** en sus trabajos realizados en la universidad del valle en Colombia, se demuestra que el uso de la flotación burbujeante y lixiviación con ácidos favorece satisfactoriamente la calidad e incrementa el poder calorífico.

**Barraza (2011)**, en el trabajo de investigación, “Avances en Flotación de Carbones”, concluye para mejorar las recuperaciones de los carbones es importante el porcentaje de liberación 75% - 200.

**Hippo (2001)**, en su trabajo de Investigación “coal flotation with /oil froth” presentado por la Southern Illinois University, concluye que la alta recuperación y calidad de los carbones ultra finos es por el uso del Metil Iso Butil Carbinol “MIBC” con el Dowfroth D250.

### 2.2 El Carbón Mineral

El carbón es un combustible fósil, de forma rocosa sedimentaria organoclástica de color negro, constituido en lo fundamental por restos vegetales litificados, depositados inicialmente en ambientes palustres, lagunares o deltaicos.

El sedimento que origina el carbón es un material esponjoso y húmedo denominado turba, que «consiste en la acumulación y fosilización de residuos vegetales en tierras húmedas llamadas turberas». Posteriormente, pasa por un proceso de diagénesis: « el conjunto de procesos que actúan para modificar a los sedimentos luego de su depósito», debido a la superposición progresiva de los sedimentos por subsistencia de la cuenca y por la presencia de actividad tectónica en el lugar, los

cuales hacen que sufra modificaciones en su textura y composición convirtiéndose en una roca de origen orgánico. (Mendiola, 2013, p.16)

### 2.3 Tipos de Carbón

Para el presente estudio se utiliza la clasificación más usada en el mundo a escala industrial que corresponde a la ASTM (American Society for Testing and Materials) de Estados Unidos de América (EUA). Este organismo se encuentra entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO y mantiene un liderazgo casi monopolístico en la definición de materiales y métodos de prueba en la mayoría de industrias. El cuadro 01 se detalla la clasificación internacional del carbón.

### 2.4 Clasificación del carbón

Para el presente trabajo de investigación se utilizará la clasificación más usada en el mundo a escala industrial que corresponde a la ASTM “American Society for Testing and Materials”.el cuadro 2.1 detalla la clasificación internacional del carbón.

**Cuadro 2.1.** Clasificación del carbón mineral según la norma ASTM D388

TIPO DE CARBÓN	GRUPO
ANTRACITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meta antracita</li> <li>- Antracita</li> <li>- Semiantracita</li> </ul>
BITUMINOSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bituminoso de bajo Volátil</li> <li>- Bituminoso de volátil intermedio</li> <li>- Bituminoso A de lato volátil</li> <li>- Bituminoso B de alto volátil</li> <li>- Bituminoso C de alto volátil</li> </ul>
SUBBITUMINOSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subbituminoso A</li> <li>- Subbituminoso B</li> <li>- Subbituminoso C</li> </ul>
LIGNITO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lignito A</li> <li>- Lignito B</li> </ul>



## 2.5 Análisis químico del Carbón

La ICCTR “Indiana Center for Coal Technology Research”, el análisis elemental del carbón es como se muestra en el cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2.** Análisis elemental del carbón mineral

TIPO DE CARBON	FORMULA EMPIRICA
ANTARCITA	$C_{240}H_{90}O_4NS$
BITUMINOSO	$C_{137}H_{97}O_9NS$

## 2.6 Poder Calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que puede liberar ese combustible por unidad de peso o volumen. Los poderes caloríficos son determinados de manera experimental. Se consideran dos poderes caloríficos para los combustibles: El poder calorífico superior y el inferior. En la literatura corrientemente se identifican uno y otro por sus siglas en inglés. Así HHV “Hight Heat Value” es el Poder Calorífico Superior, y el LHV “Low Heat Value” es el Poder Calorífico Inferior. Se denomina Poder Calorífico Superior al que resulta de incrementar el poder calorífico con el calor latente de condensación que desprende el agua al condensar. Mientras el Poder Calorífico Inferior es el que no tiene en cuenta dicho incremento del calor de condensación por permanecer el agua en estado de vapor.

## 2.7 Clases de carbón

**Antracita:** o carbón duro, con alto contenido de carbono (86% al 98%), bajo contenido de materia volátil y poder calorífico superior a 32.6 MJ/Kg (14.000 BTU/lb). Usado como combustible en generación de calor o vapor en la industria térmica y siderúrgica, también se usa en la fabricación de goma sintética, colorantes y purificación de agua para consumo humano (filtros).

**Bituminoso:** este tipo de carbón posee un menor contenido de carbono y menor poder calorífico que los carbones antracíticos. Por su forma de uso se conocen como carbones coquizables, usados en procesos de obtención del acero, y carbones térmicos, usados en la producción de vapor para generación de energía.

**Sub-bituminoso:** con menor poder calorífico que los carbones bituminosos, su composición en carbono está entre 35% y 45%, tiene un elevado contenido de material volátil, algunos con poder coquizable. Es empleado en la generación de energía eléctrica y en procesos industriales.

**Lignito:** son carbones con alta humedad y alto contenido de ceniza y de material volátil, lo cual hace que posean un bajo poder calorífico. Es empleado para la generación de calórica (calefacción), energía eléctrica, para algunos procesos industriales en donde se requiere generar vapor y más recientemente se han fabricado briquetas de turba y lignito para quemarlas en hornos.

### **Parámetros de Carbón**

La calidad de los carbones está referida a las propiedades físicas y químicas, descritas a continuación (coal processing consultants Ltd. 1980), que son las que finalmente determinarán el uso final del material. Humedad: se presenta como humedad total, inherente o de equilibrio, superficial, agua de hidratación o agua de descomposición. Tiene importancia en contratos de compraventa, en evaluación y control de procesos industriales y en manejo y pulverización del carbón.

**Cenizas (Cz):** residuo no combustible de origen orgánico e inorgánico.

**Materias volátiles (Mv):** su contenido determina los rendimientos del coque y sus productos y es criterio de selección del carbón para gasificación y licuefacción.

**Carbono fijo (CF):** es una medida de material combustible sólido y permite clasificar los carbones y definir los procesos de combustión y carbonización.

**Azufre total (St):** parámetro en la definición de gases tóxicos de los procesos de gasificación y licuefacción.

**Poder Calorífico (PC):** representa la energía de combustión del carbono e hidrógeno y del azufre. Es el parámetro más importante en la definición de los contratos de compraventa de Carbones térmicos y en la clasificación de los carbones por rango

## **2.8 Beneficio**

En el Texto Único Ordenado “TUO” de la ley general de Minería, publicada en Junio de 1992, En el título segundo, Capítulo II “Concesiones de Beneficio”, se

define, el beneficio es el conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico químico que se realizan para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales y/o para purificar, fundir o refinar metales; comprende las siguientes etapas: (Ministerio de Energía y Minas, 2014, P 11)

**1. Preparación Mecánica.-** Proceso por el cual se reduce de tamaño, se clasifica y/o lava un mineral.

**2. Metalurgia.-** Conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico-químico que se realizan para concentrar y/o extraer las sustancias valiosas de los minerales.

### **Etapas de un Proceso de Beneficio**

El procesamiento de los minerales, es el tratamiento de materias primas (minerales), extraídas del interior o de la superficie terrestre, para obtener productos comerciales por métodos que no destruyan la identidad física o química de los minerales. El método para el estudio del procesamiento de minerales serán mediante estudios cualitativos y cuantitativos de las operaciones unitarias, el procesamiento consiste en una amplia variedad de pasos secuenciales, cuyos principios básicos son independientes del material que se está tratando. En el diseño de un método de tratamiento, es esencial que se reconozca las etapas involucradas, a cada una de estas etapas se les denomina operaciones unitarias. (Chia, 1984, P.1)

### **Operaciones Unitarias**

Se usa el concepto de reducción o conminución, para identificar los procesos que tienen que ver con la acción de reducción de tamaño de los minerales y que permiten liberar las especies valiosas contenidas en ellos. Según este

concepto, la voladura en la mina es el primer proceso de reducción conminución en la línea de operaciones de mina y planta. Para el control metalúrgico, operacional y chequeo de las características de diseño de una planta de conminución de minerales, es importante contar con toda la información necesaria para realizar los balances de materiales en cada punto del proceso. Esto es importante, ya que es una manera indirecta de verificar que los equipos, habitualmente enlazados entre sí por un sofisticado sistema de automatización y control, se encuentren operando dentro de los márgenes de lo diseñado y poder detectar cualquier variación en algunos de los parámetros operacionales habituales, como puede ser, por ejemplo, la granulometría de alimentación y descarga de algún circuito del proceso o el porcentaje de sólidos de la pulpa en un determinado punto del proceso. De esta forma se podrá determinar de una manera rápida cuál es la fuente que está ocasionando el problema. (Contreras, 2006, p.91)

### **Chancado**

El chancado es una operación unitaria o grupo de operaciones unitarias, cuya función es la reducción de grandes trozos de rocas o fragmentos pequeños, las partículas más gruesas en esta operación son del orden de 1/4" a 3/8". Las chancadoras se diseñan de modo que reduzcan las rocas, a un grado tal, que todos los fragmentos sean menores a los tamaños establecidos. La energía que se gasta en la trituración es convertida en gran parte, en sonido y calor, por lo que se acepta generalmente, que la eficiencia de chancado es muy baja 30%.

Un material con bajo índice de trabajo es fácilmente fragmentable, por lo que la razón de reducción del chancador es alta, disminuyéndose las etapas

necesarias de fragmentación de la planta de chancado. Por el contrario, si un material tiene un índice de trabajo alto será imposible utilizar una abertura de salida muy estrecha, para no producir sobrecargas, con lo que se necesita mayor cantidad de etapas de fragmentación para alcanzar el tamaño de producto deseado. La capacidad y el consumo energético se determinan mediante las relaciones siguientes. (Chia, 1984, P.15)

$$TPH = 0.6 \times Lr \times Lo$$

$$Wi = 1.73 \times V \times A \frac{0.8}{TPH}$$

Donde:

TPH : Toneladas por hora

Lr : Longitud de la abertura de recepción

Lo : Longitud de abertura de descarga

Wi : Consumo energético kwh/ton

V : Diferencia de potencial

A : Corriente de trabajo

### **Especificaciones para las chancadoras del tipo J**

#### **Cuadro 06: Capacidades de las chancadoras de quijada**

**SPECIFICATIONS - JAW CRUSHER TYPE J**

Crusher Size	HP Required	HP Motor	RPM	Flywheel Face and Dia	Appr. Ship Wt. lbs	Dimensions . In.		
						L	W	H
10x24	25 - 35	40	225 - 275	36x10.5	9300	47	72 1/2	50.5
10x36	40 - 50	50	225 - 275	36x 11.5	13000	48.75	88.5	51
15x24	40 - 50	50	225 - 275	42x11.5	14300	59	72.5	71
18x24	40 - 45	50	225 - 275	42x11.5	14300	59	72.5	71
15x36	50 - 60	60	200 - 250	50x13.5	20200	60	89.5	75
18x36	50 - 60	60	201 - 250	50x13.6	20200	60	89.5	75
21x36	60 - 75	75	200 - 225	56x13.5	24950	66	89.24	75
25x50	70 - 80	100	200 - 225	56x13.5	36500	82	94.5	102
32x40	80 - 90	100	201 - 225	56x13.6	47000	84	96.5	113.5

**Cuadro 07: Capacidad horaria de las Chancadoras**

Crusher Size	CAPACITIES (Tons per hours)						
	Ring Size (Inches)						
	1/2	1	1 1/2	2 1/2	3	4	6
10x24	7	18	33	52	68		
10x36	8	22	40	74	88		
15x24	7	18	33	52	68		
18x24			33	52	68		
15x36				74	88	120	160
18x36				74	88	120	160
21x36				80	92	128	173
25x50					92	128	173
32x40					92	128	173

Capacities are based on material weighing 100 lbs per cubic foot of average stone with jaws set to produce 15 - 20% oversize above ring size

**Molienda**

Mediante la molienda, la otra etapa del proceso de conminución después del chancado, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales en forma de partículas individuales recuperables por flotación. Este proceso se

realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica que existen y se disponen en tres esquemas diferentes de molienda: molienda convencional, molienda unitaria y molienda SAG. En esta etapa, al material mineralizado se le agregan agua en cantidades suficientes para formar un fluido y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente que es la flotación. Dentro del proceso de conminución es la etapa de operación la que consume la mayor parte de la energía de todo el proceso y por ello en búsqueda del uso más eficiente de la misma se ha producido el más fuerte desarrollo tecnológico a través del rediseño de equipos, considerando por sobre todas las cosas el gigantismo de los molinos que permita moler cada vez más mineral en un solo equipo. (Contreras, 2006, p.125)

### **Dimensionamiento de los Molinos**

Se fundamenta en la tercera teoría de Fred C. Bond.

$$W = W_i \left[ \frac{10}{\sqrt{P80}} - \frac{10}{\sqrt{F80}} \right]$$

Donde:

W : Kwh/tc o energía consumida por tonelada corta molida

W<sub>i</sub> : Índice de trabajo del molino especificado por Bond

F80 : Tamaño en micrones que pasa el 80% de la alimentación

P80 : Tamaño en micrones que para el 80% del producto



## Potencia eléctrica y mecánica requerida

$$P_m = WxC \quad \text{O} \quad P'_m = 1.341xP_m$$

Donde:

$P_m$  : Potencia mecánica en Kw

$W$  : Consumo energético en molienda Kwh/tc

$C$  : Capacidad de Molienda en tc

$P'_m$  : Potencia mecánica en HP

$n$  : Eficiencia del motor eléctrico

$$Pe = \frac{P'_m}{n} \times 100$$

El diámetro nominal del molino se calcula:

$$D = \left[ \frac{Pe(Hp)}{Kb x V_p^{0.461} x C_s^{1.505} x L/D} \right]^{1/3.5}$$

Donde:

$Kb$  : Constante de proporcionalidad

$V_p$  : Volumen de molino cargado con bolas del 30% al  
40%

$C_s$  : Fracción de la velocidad crítica, entre 60% a 70%

$L/D$  : Relación longitud y diámetro del molino

## Capacidad del molino de bolas

### Cuadro 08: Capacidad de los molinos de bola

**BALL MILL CAPACITIES**

Size	45% Ball Load (lbs)	RPM	Short Tons/24 Hrs		Motor Output (HP)	Motor size
			65% -200	85% - 200		
3x5	3700	44	33	23	23	25
4x4	5600	37.5	50	35	34	40
5x5	10,500	35	100	70	68	75
6x6	19500	26.5	180	125	120	125
6x8	26000	26.5	240	170	160	175
7x8	35500	23.5	335	235	216	225
8x10	58000	21.5	560	390	356	375
10 1/2 x 12	123000	17	1275	900	725	750

Date based, single stage, closed circuit operation, feed 1/2" one way dimension

### Clasificación

Es la separación de partículas según su rapidez de asentamiento en un fluido. Debido a que el agua es el fluido de uso más común en el beneficio de minerales como sucede en la mayoría de los dispositivos de separación, los clasificadores normalmente producen dos productos. La corriente de respuesta positiva contiene las partículas de asentamiento más rápido, y se le llama arenas, producto de descarga inferior o sobre tamaño. Esta corriente contiene por lo general poca agua, lo que implica que se separe la corriente del dispositivo por gravedad. A la corriente de respuesta negativa se la llama derrame o lamas. Esta corriente las partículas se asentamiento más lento en el agua restante, y en esencia se descarga como consecuencia del desplazamiento que sobre ella ejerce la alimentación de entrada. (Kelly, 1990, P.227)

### Flotación

La flotación se define como un proceso físico-químico mediante el cual se produce la separación de los minerales a recuperar del resto de los minerales y especies que componen la mayor parte de la roca original. La pulpa proveniente de la molienda, con los reactivos necesarios para la flotación ya incorporados alimenta a las celdas de flotación. En el fondo de las celdas se hace burbujear aire, no en todas, a través de las aspas de agitadores rotatorios ubicados uno por celda, lo cual mantiene la pulpa en constante agitación para permitir que todas las partículas de mineral dispersas en la pulpa mantengan el mejor contacto con los reactivos, el agua y el aire para que con ello el proceso de flotación se lleve a cabo en forma eficiente. Los reactivos, que se incorporan a la pulpa en la etapa de molienda para dar el tiempo de residencia que cada uno de ellos necesita para conseguir una pulpa homogénea a la entrada de la flotación, tienen diferentes naturalezas y cumplen distintas funciones, a saber: (Contreras, 2006, p.139)

✓ **Reactivos espumantes:**

Tienen como objetivo el producir burbujas resistentes para la adherencia de los minerales con valor económico.

✓ **Reactivos colectores:**

Tienen por objetivo impregnar las partículas de sulfuros de metales a recuperar con características necesarias para que se separen del agua y se peguen en las burbujas de aire, lo cual se conoce como características hidrofóbicas o aerofílicas de las partículas.

✓ **Reactivos depresantes:**

Tienen por objetivo provocar el efecto inverso al de los reactivos colectores, esto, es evitar la recolección de otras especies minerales no deseadas en el producto a concentrar y que no son sulfuros.

✓ **Modificadores de pH:**

Los cuales sirven para estabilizar la acidez de la pulpa en un valor de pH determinado, proporcionando el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación.

**Ratio de concentración y recuperación metalúrgica**

Con el uso de estas fórmulas, el rendimiento metalúrgico de la planta concentradora o de un circuito de molienda en particular es fácilmente evaluado. Similarmente estas mismas fórmulas son usadas para el cálculo de los resultados de las pruebas de laboratorio. En razón a que los cálculos son enteramente dependientes de los ensayos y pesos, cuando son conocidos en la alimentación del proceso y de los productos obtenidos de la separación, los resultados calculados son tan exactos como lo sean los métodos empleados para el muestreo, ensayo y pesadas para obtener los datos requeridos. Cualquier incremento en el número de separaciones y componentes minerales a ser contabilizados, incrementa grandemente la complejidad de los cálculos.

**Cuadro 09: Balance metalúrgico**

PRODUCTO	TMS	LEYES	CONTENIDO	RECUPERACION	RC
		Kcal/kg	Kcal	%	
CABEZA	A	a			
	B	b			
RELAVE	C	c			

**Ratio de concentración**

Corresponde a la cantidad de toneladas de mineral requeridas para producir una tonelada de concentrado. La relación RC para una separación puede ser obtenida directamente de los pesos de los productos o los ensayos de los productos si los pesos son desconocidos.

$$Rc = \frac{A}{B} \times 100$$

### **Recuperación**

El porcentaje de recuperación representa la relación del peso del metal o valores del mineral recuperado en el concentrado entre el 100 por ciento del mismo constituyente en las cabezas o alimentación del proceso. Puede ser calculado de diferentes formas dependiendo de la disponibilidad de datos.

$$R = \frac{bB}{[bB + cC]}$$

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Tipo y diseño de Investigación**

Para el estudio y evaluación de los parámetros de los minerales de carbón antracita se realizó el muestreo en superficie e interior mina, obteniéndose seis muestras por zona de trabajo, es decir, de Caraz, Mancos, Sihuas y Yuramarca, así mismo para los concentrados y relaves se realizaron seis procesos metalúrgicos para cada zona de estudio los cuales se analizaron los respectivos parámetros.

Para los parámetros de flotación diferencial se determinó a nivel experimental, en la planta Santa Rosa de Jangas de propiedad de la UNASAM.

La aplicación de esta metodología nos permitirá realizar un análisis cuantitativo y cualitativo sobre los parámetros del carbón y parámetros de Flotación teniendo como parámetros fundamentales el nivel de cenizas, volátiles, azufre, carbón, fijo, poder calorífico, mientras que para la flotación los parámetros son, densidad, moliendabilidad HGI “Hard Grinden Index” , índice de trabajo  $W_i$  “Work Index”, grado de liberación, tiempo de flotación y consumo de reactivos kilogramos por tonelada (kg/t)

El trabajo de Investigación de acción práctica será del tipo correlacional y aplicativo.

#### **3.2 Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico**

##### **3.2.1 Población**

Para el presente trabajo de investigación la población lo conforma las muestras de las cuatro zonas de producción minera, Sihuas, Caraz, Yuramarca y Mancos.

### **3.2.2 Muestra**

Para la presente investigación, la muestra será el mismo que la población.

### **3.3 Instrumento(s) de recolección de la información**

La información requerida para el presente estudio será el muestreo realizado en las distintas zonas mineras del departamento de Ancash, a los cuales se les ha realizado los análisis correspondientes, como son el % de Carbón, el % de Cenizas, el % de Volátiles, el % de Azufre, y el poder calorífico correspondiente.

Pruebas metalúrgicas a nivel experimental para demostrar el incremento del carbón en los minerales y la reducción del nivel de cenizas.

### **3.4 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información**

Se utilizó las siguientes técnicas de procesamiento y análisis de datos:

- Codificación y tabulación de datos
- Aplicación del Excel
- Base de datos en el programa estadístico SPSS versión 15.

Para iniciar la organización y el análisis de datos se usan los siguientes estadísticos

- Crítica de la información
- Análisis univariable y bivariante

En el análisis univariable se tiene en cuenta los parámetros de los minerales de carbón de las zonas en estudio, como el mineral de cabeza.

Luego para el análisis bivariado se tiene en cuenta los parámetros del mineral de cabeza, parámetros de los minerales, para ello se utilizó la prueba estadística t-Student, si cumple con el requisito de normalidad, con un nivel de significación del 5% (p menor 0,05).





#### IV. RESULTADOS

**Tabla 01.** Parámetros físico mecánicos del carbón por áreas de Investigación

PARAMETROS	UNIDAD	CARAZ	MANCOS	SIHUAS	YURAMARCA
Densidad	t/m <sup>3</sup>	1.25	1.28	1.35	1.32
Humedad	%	2.58	3.16	7.66	2.15
Resistencia Compresiva	Mpa	35	40	37	45
Dureza	Mohs	5.5	5.5	5	5.5
Índice de Moliendabilidad	HGI	45	40	55	45
Índice de Trabajo	Kw-h/tc	9	10	8	9

Como se muestra en la tabla 01, los minerales de carbón del departamento de Ancash no presentan problemas en lo referente a preparación mecánica, por la baja duraza y consumo energético.

**Tabla 02.** Parámetros técnicos promedios del carbón de departamento de Ancash según la ASTM (**American Society for Testing Materials**)

ZONA DE INVESTIGACION	Humedad (%)	Cenizas (%)	Volátiles (%)	Azufre (%)	Poder calorífico (Kcal/Kg)	Carbón Fijo (%)
CARAZ	2.5	28.7	6.0	0.6	5572.8	64.7
MANCOS	3.1	24.9	4.3	0.5	5821.0	70.3
SIHUAS	7.52	28.04	6.7	0.47	5462.0	64.79
YURAMARCA	2.2	29.6	4.7	0.4	5530.3	65.3

En la presente tabla, se muestra que los valores de las cenizas son muy elevadas, que influye en el bajo poder calorífico que presentan los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash.

**Tabla 03.** Parámetros promedio de operación para la flotación experimental

<b>PARAMETROS</b>	<b>unidad</b>	<b>Caraz</b>	<b>Mancos</b>	<b>Sihuas</b>	<b>Yuramarca</b>
<b>Grado de liberación</b>	-200%	50	60	50	60
<b>Tiempo de Molienda</b>	min	8	10	9	10
<b>Tiempo de acondicionamiento</b>	min	3	3	3	3
<b>Tiempo de Flotación</b>	min	12	15	10	15
<b>RPM</b>	r/min	375	375	375	375
<b>Nivel de acidez</b>	pH	6.5	6.5	6.5	6.5
<b>Densidad de Pulpa</b>	g/cc	1200	1200	1200	1200
<b>Peso de Muestra</b>	g	1000	1000	1000	1000
<b>Volumen de agua</b>	cc	900	900	900	900

En la tabla 03. Nos muestra que el grado de liberación de los minerales de carbón se logra entre 50% a 60 % de malla -200, así mismo se puede observar que debido al bajo índice de trabajo el tiempo de molienda varía de 8 minutos a 10 minutos.

**Tabla 04.** Dosificación promedio de reactivos para la flotación experimental

<b>Reactivos</b>	<b>unidad</b>	<b>Caraz</b>	<b>Mancos</b>	<b>Sihuas</b>	<b>Yuramarca</b>
<b>Espumante D-250</b>	Kg/t	0.12	0.15	0.12	0.15
<b>Espumante MIBC</b>	Kg/t	0.07	0.07	0.07	0.07
<b>Colector D-2</b>	Kg/t	0.18	0.18	0.18	0.18
<b>Silicato de Sodio</b>	Kg/t	0.02	0.02	0.02	0.02

La tabla 04, nos indica que el consumo promedio del colector D-2 en el proceso de flotación es de 0.18 Kg/t, el espumante MIBC es de 0.07 Kg/t, el D-250 es de 0.15 Kg/t y el silicato de sodio neutro está en el orden de 0.2 Kg/t.

Tabla 05. Balance metalúrgico de la zona de Caraz

PRODUCTO	PESO	LEY	CONTENIDO	RECUPERACION	RATIO
		%C	C (g)	% C	
CABEZA	1000	64.7	647.0	100	1.31
CONC. CARBÓN	764.10	83.4	637.3	98.5	
RELAVE	235.90	4.13	9.7	1.5	

En la presente tabla, se muestra que la calidad del carbón se incrementa de 64.7% a 83.4%, con recuperación en el proceso de 98.5%, así mismo se observa que el desplazamiento al relave representa 1.5%

Tabla 06. Balance metalúrgico de la zona de Mancos

PRODUCTO	PESO	LEY	CONTENIDO	RECUPERACION	RATIO
		%C	C (g)	% C	
CABEZA	1000	70.3	703.0	100	1.19
CONC. CARBÓN	842.99	82.5	695.5	98.9	
RELAVE	157.01	4.8	7.5	1.1	

En la tabla 06, se muestra que la calidad del carbón se incrementa de 70.3% a 82.5%, con recuperación en el proceso de 98.9%, así mismo se observa que el desplazamiento al relave representa 1.1%

Tabla 07. Balance metalúrgico de la zona de Sihuas

PRODUCTO	PESO	LEY	CONTENIDO	RECUPERACION	RATIO
		%C	C (g)	% C	
CABEZA	1000	65.3	653.0	100	1.31
CONC. CARBÓN	762.82	83.8	639.2	97.9	
RELAVE	237.18	5.8	13.8	2.1	

En la tabla 07, se muestra que la calidad del carbón se incrementa de 65.3% a 83.8%, con recuperación en el proceso de 97.9%, así mismo se observa que el desplazamiento al relave representa 2.1%

Tabla 08. Balance metalúrgico de la zona de Yuramarca

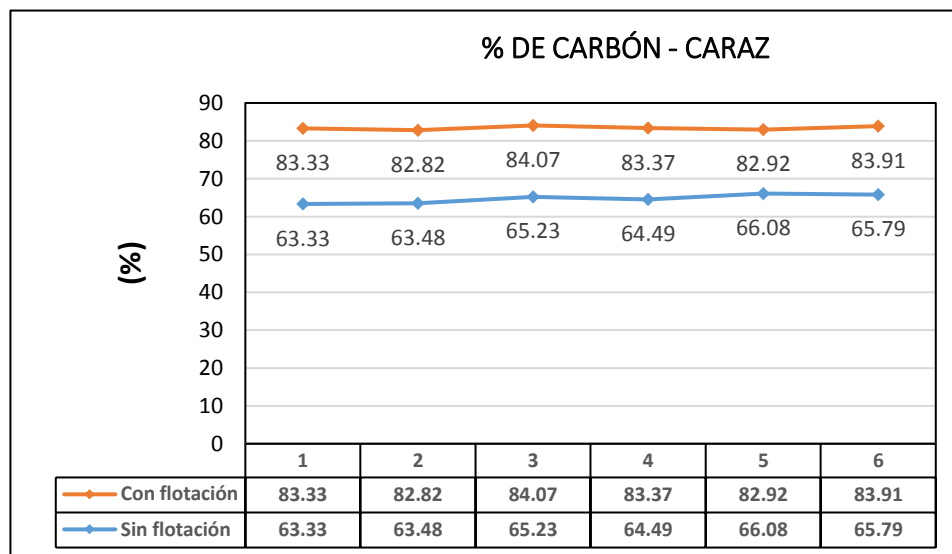
PRODUCTO	PESO	LEY	CONTENIDO	RECUPERACION	RATIO
		%C	C (g)	% C	
CABEZA	1000	64.8	648.0	100	1.29
CONC. CARBÓN	773.84	82.4	637.6	98.4	
RELAVE	226.16	4.58	10.4	1.6	

En la tabla 08, se muestra que la calidad del carbón se incrementa de 64.8% a 82.4%, con recuperación en el proceso de 98.4%, así mismo se observa que el desplazamiento al relave representa 1.6%

Tabla 09. Prueba de muestras relacionadas – zona de Caraz

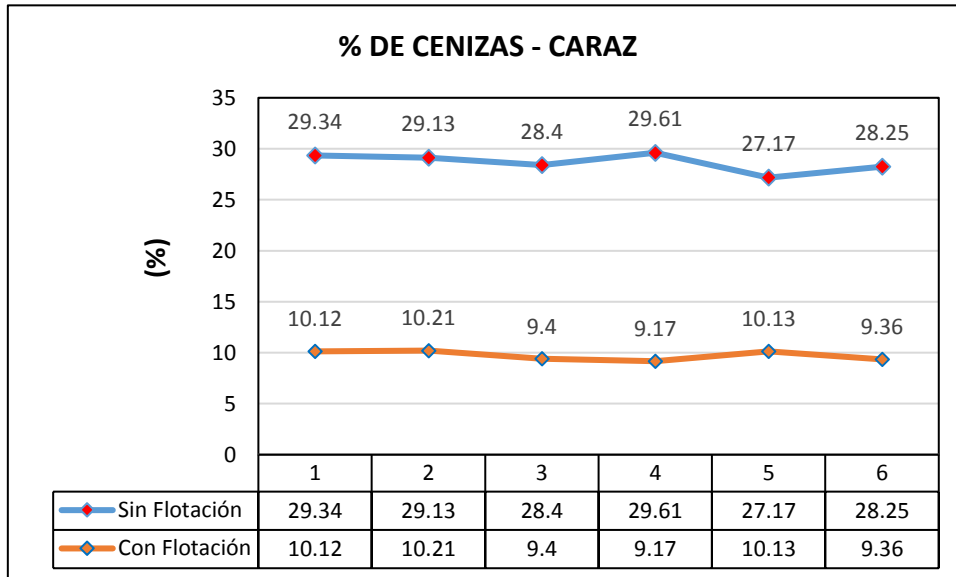
ZONA DE CARAZ	MEDIA	D.E	Prueba t-Student para la diferencia de medidas con varianzas iguales	Valor de P
Antes C	-18.67	1.09016	-41.95	0.000
Después C				
Antes Cz	18.91833	1.09015	42.508	0.000
Después z				
Antes PC	-1989.833	45.146	-107.962	0.000
Después PC				

En el presente cuadro, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas (p menor a 0.005), por lo que se puede afirmar que la flotación diferencial favorece significativamente en el poder calorífico de los minerales de carbón antracita.



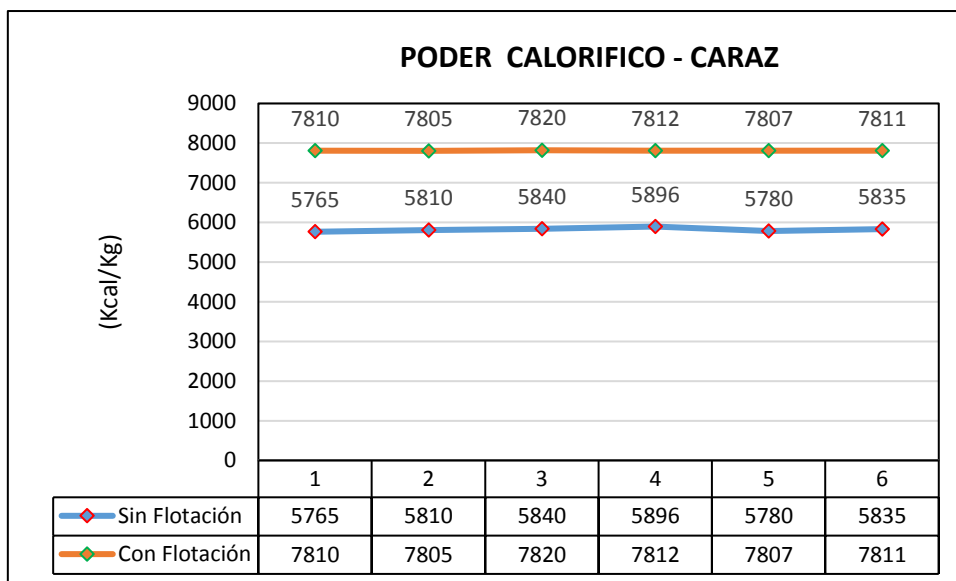
**Figura 01. Porcentaje de carbón en cabeza y concentrado**

Muestra cómo el porcentaje de carbón se incrementa con el proceso metalúrgico de flotación diferencial, el cual favorece de manera notable en el poder calorífico y por consiguiente el valor del mineral.



**Figura 02. Nivel de Cenizas en cabeza y concentrado**

Se puede apreciar, con el proceso metalúrgico de flotación favorece en la reducción del nivel de cenizas en los minerales que a futura se deben comercializar, los cuales influyen en el nivel del poder calorífico.



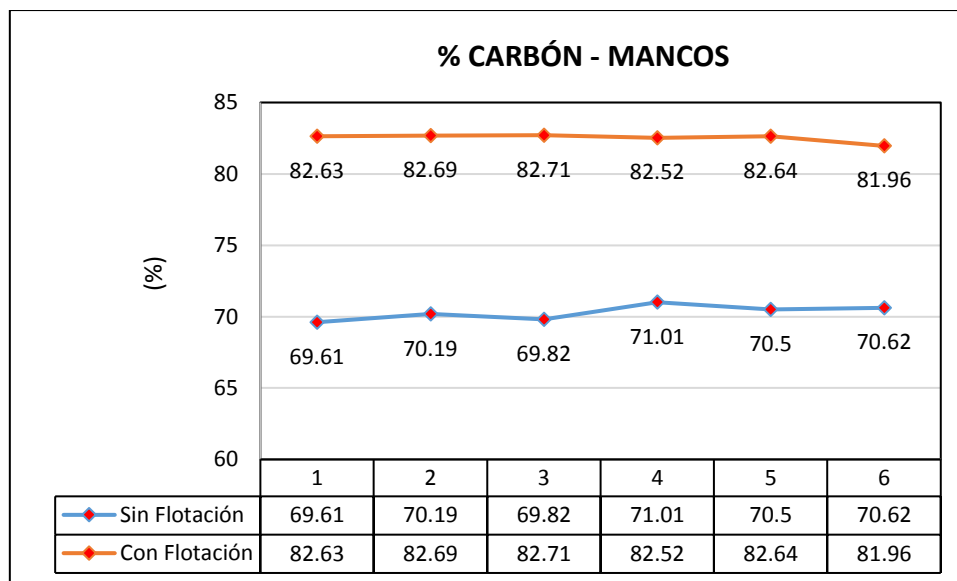
**Figura 03. Poder calorífico en cabeza y Concentrado**

La comercialización de los minerales de carbón está en función del poder calorífico, la flotación de los minerales favorece de manera sustancial en el incremento del poder, calorífico uno por la reducción de cenizas y el otro por el incremento de carbón.

Tabla 10. Prueba de muestras relacionadas – zona de Mancos

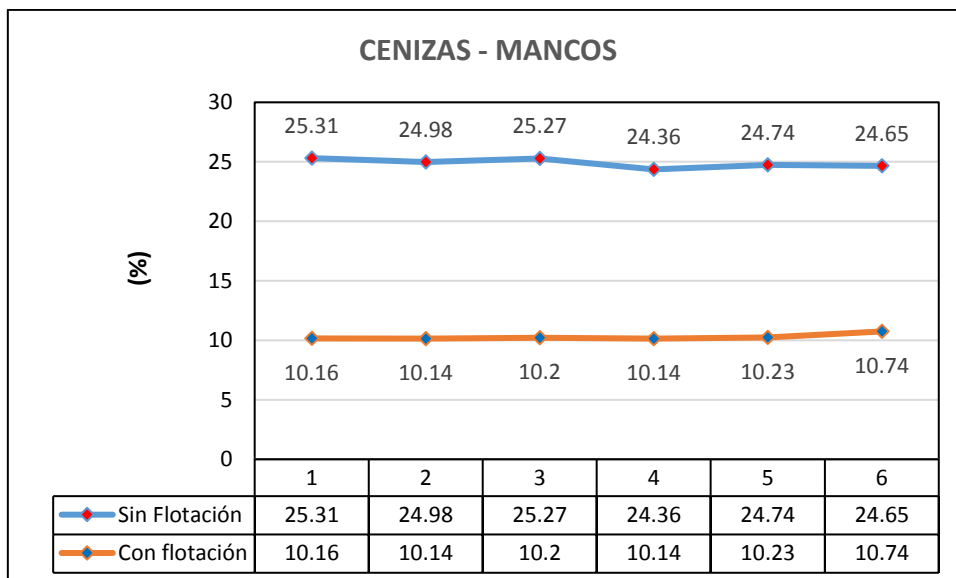
ZONA DE MANCOS	MEDIA	D.E	Prueba t-Student para la diferencia de medidas con varianzas iguales	Valor de P
Antes C	-12.23	0.70016	-42.798	0.000
Después C				
Antes Cz	14.61667	0.49151	72.843	0.000
Después z				
Antes PC	-1998.333	48.157	-107.645	0.000
Después PC				

En el presente cuadro, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas (p menor a 0.005), por lo que se puede afirmar que la flotación diferencial favorece significativamente en el poder calorífico de los minerales de carbón antracita



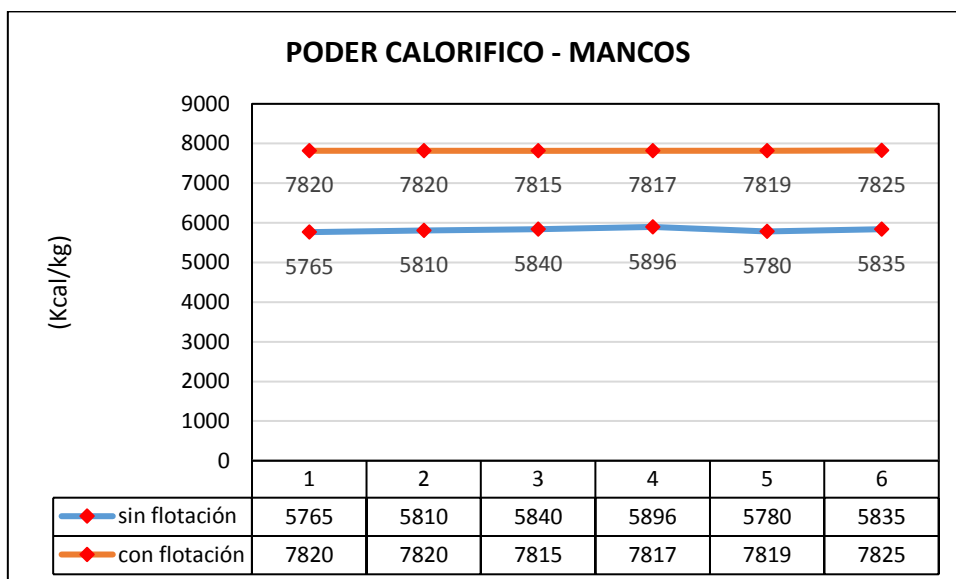
**Figura 04. Porcentaje de carbón en cabeza y concentrado**

Muestra cómo el porcentaje de carbón se incrementa con el proceso metalúrgico de flotación diferencial, el cual favorece de manera notable en el poder calorífico y por consiguiente el valor del mineral.



**Figura 05. Nivel de cenizas en cabeza y concentrado**

Se puede apreciar, con el proceso metalúrgico de flotación favorece en la reducción del nivel de cenizas en los minerales que a futura se deben comercializar, los cuales influyen en el nivel del poder calorífico.



**Figura 06. Poder calorífico en cabeza y concentrado**

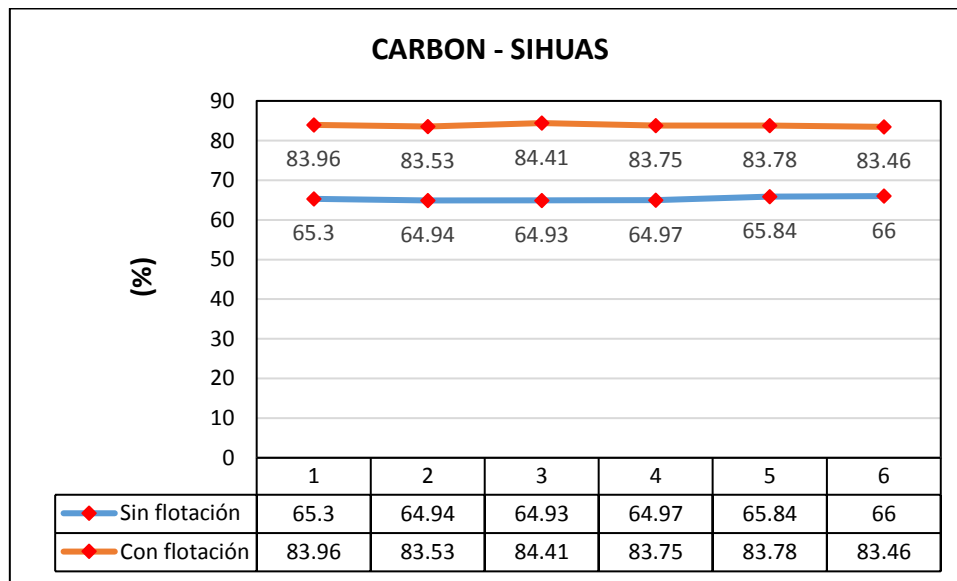
La comercialización de los minerales de carbón está en función del poder calorífico, la flotación de los minerales favorece de manera sustancial en el incremento del poder calorífico uno por la reducción de cenizas y el otro por el incremento de carbón



Tabla 10. Prueba de muestras relacionadas – zona de Sihuas

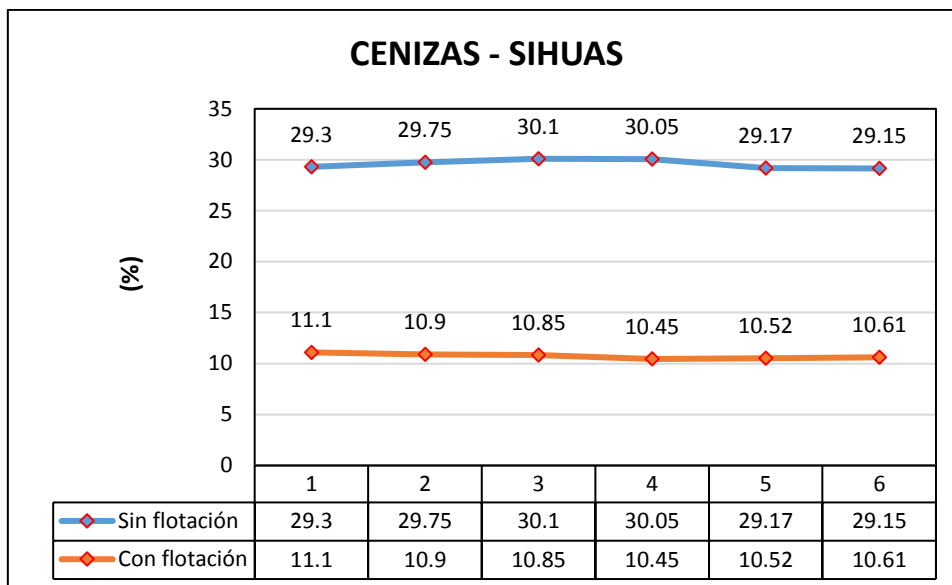
ZONA DE SIHUAS	MEDIA	D.E	Prueba t-Student para la diferencia de medidas con varianzas iguales	Valor de P
Antes C	-18.48500	0.70233	-64.469	0.000
Después C				
Antes Cz	18.84833	0.50618	91.211	0.000
Después z				
Antes PC	-2229.667	65.473	-83.417	0.000
Después PC				

En el presente cuadro, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas (p menor a 0.005), por lo que se puede afirmar que la flotación diferencial favorece significativamente en el poder calorífico de los minerales de carbón antracita



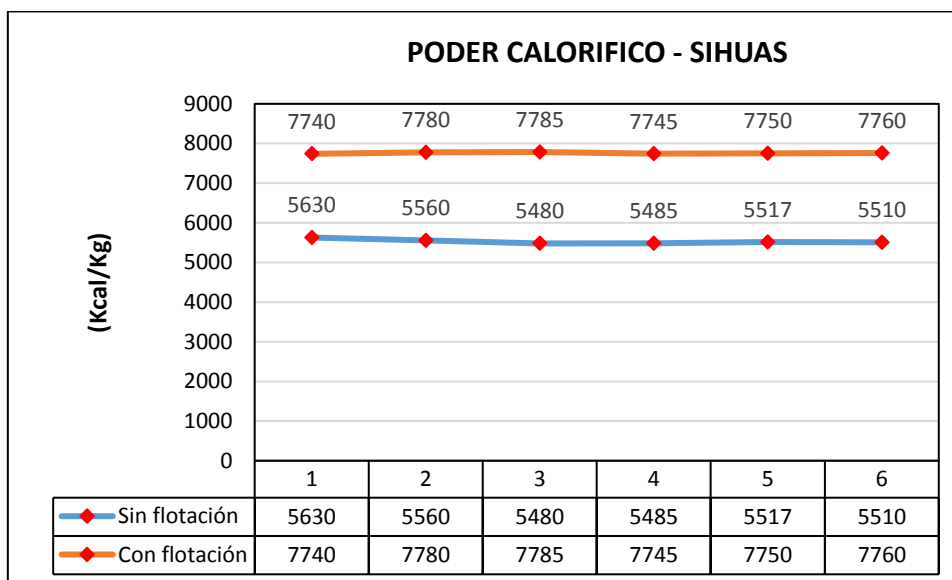
**Figura 07. Contenido de Carbón en Cabeza y Concentrado**

Muestra cómo el porcentaje de carbón se incrementa con el proceso metalúrgico de flotación diferencial, el cual favorece de manera notable en el poder calorífico y por consiguiente el valor del mineral.



**Figura 08. Contenido de cenizas en cabeza y concentrado**

Se puede apreciar, con el proceso metalúrgico de flotación favorece en la reducción del nivel de cenizas en los minerales que a futura se deben comercializar, los cuales influyen en el nivel del poder calorífico.



**Figura 09. Poder calorífico en Cabeza y concentrado**

La comercialización de los minerales de carbón está en función del poder calorífico, la flotación de los minerales favorece de manera sustancial en el incremento del poder calorífico uno por la reducción de cenizas y el otro por el incremento de carbón

Tabla 11. Prueba de muestras relacionadas – zona de Yuramarca

ZONA DE YURAMARCA	MEDIA	D.E	Prueba t-Student para la diferencia de medidas con varianzas iguales	Valor de P
Antes C	-17.62500	0.29077	-48.473	0.000
Después C				
Antes Cz	18.84833	0.14976	272.774	0.000
Después z				
Antes PC	-2229.667	6.055	-926.216	0.000
Después PC				

En el presente cuadro, se observa que las diferencias son estadísticamente significativas (p menor a 0.005), por lo que se puede afirmar que la flotación diferencial favorece significativamente en el poder calorífico de los minerales de carbón antracita

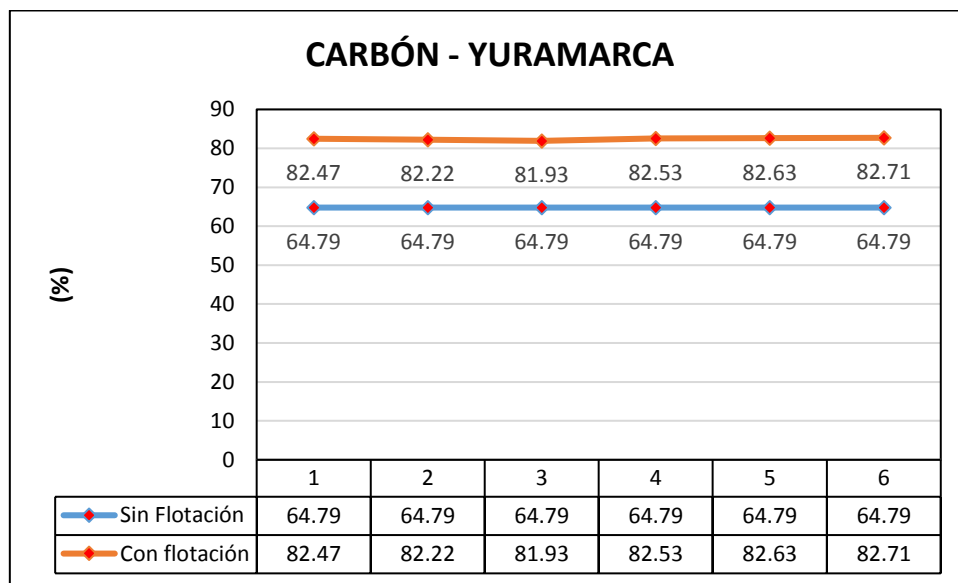
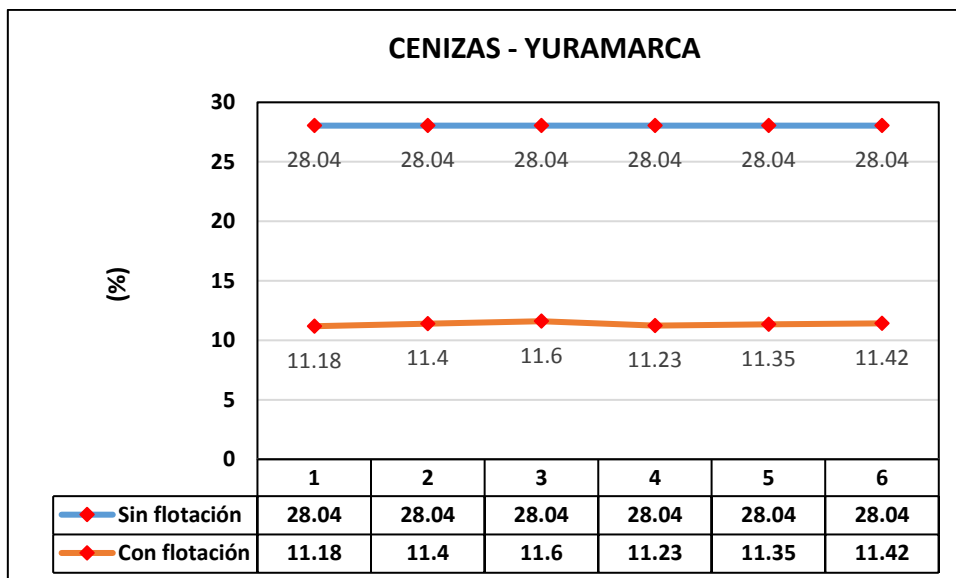


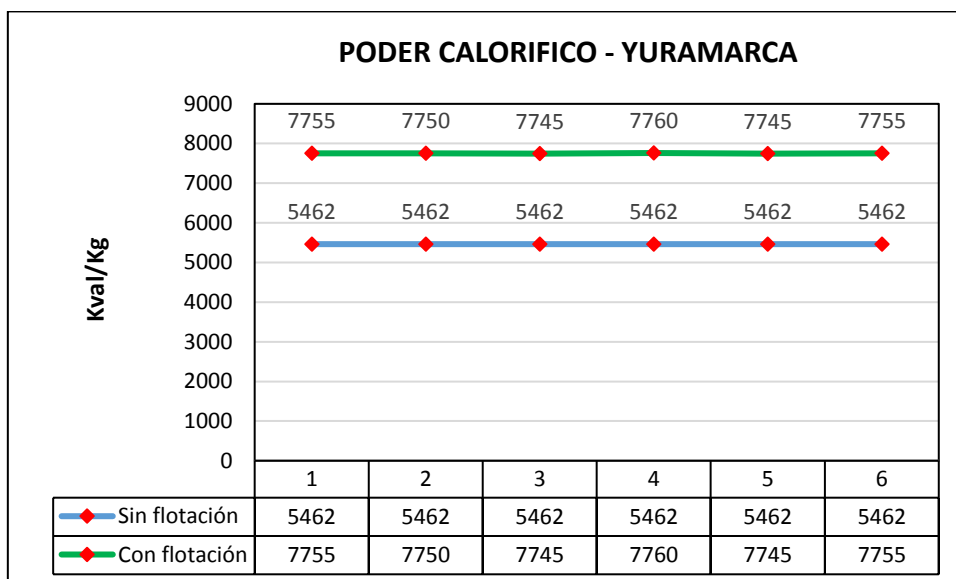
Figura 10. Nivel de carbón en cabeza y concentrado

Muestra cómo el porcentaje de carbón se incrementa con el proceso metalúrgico de flotación diferencial, el cual favorece de manera notable en el poder calorífico y por consiguiente el valor del mineral.



**Figura 11. Contenido de cenizas en cabeza y concentrado**

Se puede apreciar, con el proceso metalúrgico de flotación favorece en la reducción del nivel de cenizas en los minerales que a futura se deben comercializar, los cuales influyen en el nivel del poder calorífico.



**Figura 12. Poder calorífico en cabeza y concentrado**

La comercialización de los minerales de carbón está en función del poder calorífico, la flotación de los minerales favorece de manera sustancial en el incremento del poder calorífico uno por la reducción de cenizas y el otro por el incremento de carbón

## V. DISCUSIÓN

Las tendencias actuales de los sectores extractivos, en particular el sector minero, es comercializar productos con mayor valor agregado, con la finalidad de mejorar las utilidades de los productores; los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash se comercializan como sale de mina, con valores altas en el nivel de cenizas lo que origina que el poder calorífico no apoye satisfactoriamente en la valorización, con el presente trabajo de investigación se pretende mejorar sustancialmente las calorías del mineral.

Barza (2009) sostiene que la flotación burbujeante favorece satisfactoriamente el poder calorífico, el cual se ratifica que la flotación diferencial de los minerales de carbón antracita realizada a nivel experimental mejora sustancialmente el nivel del poder calorífico superando los 7700 Kcal/kg.

Barraza (2011) sustenta que la mejor recuperación de los minerales de carbón se logra liberando el mineral de la ganga en la malla 75% - 200, con la presente investigación se demuestra que la liberación de los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash, se logra en las mallas 50% y 60% -200.

Hippo (2001) en su publicación hace notar que la alta recuperación y calidad de los concentrados se logra con el uso de los espumantes D-250 y MIBC, por lo que la presente investigación ratifica que los niveles de recuperación superan a 93%, mientras que las calidades de los concentrados superan a 83%.

El comercio de carbón está destinado básicamente al consumo local, como carbón siderúrgico y termoeléctrico, por las regulaciones ambientales en la emisión de partículas de sílice, el mercado exige productos con bajo nivel de cenizas y alto poder calorífico.

Los resultados obtenidos en el rubro anterior nos conduce a sacar algunas conclusiones que serán dadas en forma resumida, los niveles de cenizas se han reducido a valores que oscilan entre 9% a 11%, el porcentaje de carbón fijo de los minerales en estudio están en el rango de 82% a 84% valores muy aceptados en el mercado local. El poder calorífico se ha incrementado de manera notable de parámetros de cabeza de 5600 Kcal/kg a valores superiores a 7700 Kcal/kg.

## VI. CONCLUSIONES

1. Como se puede observar de los cuadros anteriores, los minerales de carbón antracita del departamento de Ancash, presentan un elevado contenido de cenizas en promedio de 28.8 %, el cual repercute de manera notable en el poder calorífico.
2. De los balances metalúrgicos se afirma que el nivel de recuperación de carbón en el proceso de beneficio es muy satisfactorio que supera a 97%, por consiguiente el desplazamiento de carbón al relave en el orden de 3%.
3. El incremento de carbón en el concentrado es satisfactorio, en un valor promedio de 63.5% a 84.6% que favorece sustancialmente en el incremento del poder calorífico.
4. De los cuadros N°05 al N°08, se afirma que el beneficio de los minerales de carbón tiene un comportamiento dócil, no presenta dificultad alguna en las operaciones unitarias de flotación diferencial, el cual se afirma por el elevado nivel de recuperación.
5. El colector usado para la presente investigación es el petróleo diésel D-2, con un consumo promedio de 0.18 Kg/t, cuya comercialización es libre en el Perú, a diferencia del Kerosene que salió fuera de mercado de los hidrocarburos.
6. Al tener minerales de carbón con poder calorífico que superan a 7700 Kcal/kg, los productores del departamento de Ancash, se verán beneficiados en sus ingresos por venta de los minerales concentrados, es decir dejarán de llevar desmonte a la ciudad de Lima y obtener mejoras en los términos comerciales.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Seguir con los estudios de concentración de carbón con técnicas amigables con el ambiente, es decir con procesos que no usen reactivos, sino procesos como la gravimetría y concentración por centrifugación.
2. Seguir con la innovación de los productos, dando solución al mercado, es decir intentar peletizar los concentrados de carbón a la granulometría que solicitan los consumidores, buscando un aglomerante que no perjudique el proceso de fabricación de los aceros.
3. Los valores de carbón obtenidos de los concentrados son muy aceptados en el mercado interno, es decir, aceros Arequipa, Sider Perú y el grupo UNACEM, por lo que sugerimos implementar en las plantas centradoras de la UNASAM bancadas de celdas para la flotación de carbón.
4. Incrementar el presupuesto para los trabajos de investigación



## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Barraza, Juan. 2011. *Avances en la flotación de carbón*. Cali
- Comunidad Europea. 1992. *Flottazione di un carbone sub-bituminoso*. Luxemburgo.
- Clarke, Wilson. 1993, *Coal flotation*. New york
- Deepak, Danton. 2001. *Coal Flotation with/oil Froth*. Illinois
- Demir, Ilham. 2002. *Advances in coal cleaning*. Illinois
- Hussin, Ahmed. 2004. *Effect of flotation procedure and composition of reagents on yield of difficult to float coal*. Cairo
- INGEMMET. 2005. *El carbón en el Perú*. Lima
- Ives, K. 1976. *The Scientific Basic of Flotation*. Dordrech
- Juan Barza, Isabel Mejía. 2009, *Producción de carbones ultralimpios usando flotación burbujeante y lixiviación con ácidos*, Cali
- Mendiola, Alfredo. 2008. *Explotación del carbón antracita*. Lima
- Leja, J. 1982. *Surface Chemistry in Flotation*. New york

## ANEXOS 1

### PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 01. Muestra obtenidas de las canchas de mineral y de los tajos de producción



Fotografía 02. Preparación mecánica de los minerles de carbón 100% -10mallas



Fotografía 03. Acondicionamiento de la pulpa de carbón

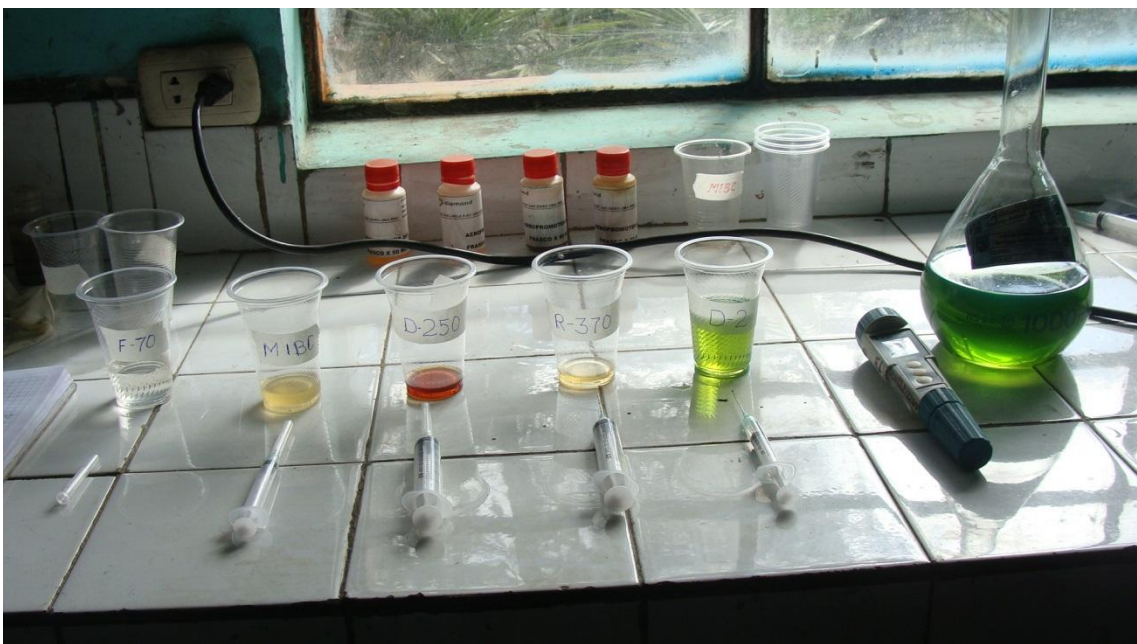


Fotografía 04. Flotación rougher de los minerales de carbón





Fotografía 05. Flotación cleaner de los minerales de carbón



Fotografía 06. Reactivos que participan en el proceso de flotación



Fotografía 07. Evaluación de la temperatura y pH de la pulpa



Fotografía 08. Agotamiento en el proceso de flotación





Fotografía 09. Productos del proceso de Flotación



Fotografía 10. Colaboradores para la ejecución de la Investigación.