

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y
METALURGICA



“METODOS PARA LA DETERMINACION DE
WORK INDEX CON APLICACIONES
INDUSTRIALES”

INFORME DE INGENIERIA

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR

Luis Alberto Román Aranda

LIMA - PERU

2001

DEDICATORIA

Esta Memoria está dedicada a mis queridos padres, esposa y profesores, por su valiosa contribución en la formación de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su especial agradecimiento a Southern Perú Copper Corporation, por el Soporte de esta Memoria.

También deseo resaltar, el constante apoyo y entusiasmo de mis colegas Frida Páucar, Aldo Aliaga y del personal de Metalurgia Cuajone.

A mis Profesores Iván Quiroz, Benigno Ramos y Edwilde Yoplac, por su tiempo, paciencia y orientación para la culminación de esta Memoria.

RESUMEN

Esta memoria presenta el desarrollo y aplicación de métodos alternativos para determinar el Work Index o Índice Energético de molienda, para un mineral de cobre, la que fundamentalmente consiste en realizar pruebas en molinos de Laboratorio y su correlación con datos de planta a nivel industrial.

La técnica de F.C Bond, para la determinación de Work Index es usada con frecuencia en este estudio. A pesar de ser muy antigua, su aplicación continua vigente, válida y aceptada. El equipo utilizado fue un molino de modelo BICO con dimensiones de 12" diam x 12" largo. Otras metodologías se presentan como alternativas.

La determinación de Work Index puede ser realizada en molinos ordinarios de Laboratorio metalúrgico, previamente calibrados. Estos métodos son Berry & Bruce, Anaconda Simplificado, Bond Modificado – Corto y el Método Industrial que está referido al Work Index operacional obtenidos de una evaluación metalúrgica del circuito de molienda en operación.

Estas alternativas han sido validadas estadísticamente y los factores de correlación alcanzados están en el rango de 83 a 94%.

La ventaja principal de los métodos alternativos para determinar el Work Index es el tiempo requerido para el ensayo, el que disminuye de ± 16 horas para un ensayo convencional a ± 4 horas en promedio.

Esto permitirá obtener mayor cantidad de información, con similares recursos disponibles.

Cada metodología es respaldada con los resultados experimentales realizados por el autor durante su ejercicio profesional. El beneficio de

este estudio es la aplicación industrial para evaluar la performance actual y permita optimizar el circuito de molienda y clasificación.

Otra orientación de los resultados es la aplicación en el área de Planeamiento de Producción con la inclusión del Work Index en los modelos geometalúrgicos de bloques, lo cual permitirá predecir las variaciones de la capacidad de la planta frente a las características del mineral. Escenarios de sensibilidad en conjunto con modelos de planta son desarrollados en esta aplicación.

Esta Memoria es un aporte al área de conminución que pretende llamar la atención para continuar investigando y aplicando nuestro valioso conocimiento, orientado al desarrollo de nuevos conceptos, como el SAG Power Index (SPI) para la molienda SAG.

CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	5
TABLA DE CONTENIDO	7
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	9
1.1 Conminución Actual	10
1.2 Bases Teóricas	11
CAPITULO II	
WORK INDEZ – INDICE ENERGÉTICO DE MOLIENDA	14
2.1 Determinación de Work Index	15
2.1.1 Método Estándar de Bond	16
2.1.2 Método Comparativo de Berry & Bruce	34
2.1.3 Método de Anaconda Simplificado	54
2.1.4 Método Modificado de Bond-Corto	62
2.1.5 Método Industrial	67
CAPITULO III	
APLICACIONES DE WORK INDEX	71
3.1 Utilización en Procesos Industriales	71
3.2 Utilización en Proyectos Industriales	74
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS	83

APÉNDICE		87
APÉNDICE A	Molino de Bond	87
APÉNDICE B	Tabla de Work Index de Bond para Diferentes Materiales	88

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La palabra conminución es derivada del latín conminuere el cual significa reducir al más pequeño. La reducción a partículas más pequeñas a partir de partículas grandes es de constante interés para los ingenieros y científicos.

La concepción actual de la conminución considerara como punto de inicio para su estudio, las grandes rocas generadas por el sistema de perforación y voladura hasta la producción de partículas muy finas para múltiples usos como: la pintura, cerámicos y otros materiales de avanzada tecnología. Entonces la perforación y voladura de rocas puede ser considerada como la primera etapa de conminución en las operaciones mineras. La integración de las etapas de conminución en mina y las plantas concentradoras producen un sustancial beneficio económico.

Reportes de la U.S. National Materials Advisory Board estiman que el 1.5% del total de energía eléctrica generada en U.S.A. se consume en los procesos de conminución. También estiman que es posible mejorar la eficiencia energética de conminución con la inclusión de nuevos equipos, y la implementación de nuevos sistemas de control.

La distribución de energía en una planta concentradora está concentrada alrededor del 30 – 50% en el área de conminución, llegando hasta valores de 70% para minerales muy duros. Caso similar es apreciado para los costos de capital y operación de la planta.

El mejoramiento continuo de nuestras plantas concentradoras implica la optimización de los procesos de conminución expresándose beneficios como:

- Reducción de los costos unitarios de operación (\$/ton)
- Incremento de la capacidad de planta
- Incremento de la disponibilidad de los equipos

En este marco el Work Index junto con otras herramientas de optimización juegan un rol principal en la optimización de los procesos de conminución.

1.1 Conminución Actual

Los actuales esfuerzos en el área de conminución están orientados al uso de equipos de gran tamaño y en la simplificación de los circuitos de molienda. Dentro de los nuevos equipos implementados en nuestro medio son:

- La molienda SAG (Antamina, Uchuchacua)
- Remolienda con Tower Mill (Cuajone, Antamina, Uchuchacua)
- Pre Molienda con rodillos a alta presión (Cementos Lima)

Con respecto a los sistemas de control implementados en nuestro medio son: el sistema de control distribuido (DCS) y sistemas expertos a desarrollarse en el futuro en las plantas concentradoras de Cuajone, Toquepala y Antamina.

En la caracterización física de los minerales, el Work Index continúa siendo una herramienta de uso común por los ingenieros de diseño y procesos, a pesar de ser una técnica muy antigua desarrollada por F.C. Bond en 1960. Sin embargo, los investigadores de esta área no han cesado en la búsqueda de nuevas alternativas que permitan estar

de acuerdo con las nuevas tecnologías desarrolladas en paralelo con los nuevos equipos de conminución ofertados.

Dentro de los múltiples esfuerzos desarrollados a la fecha, destacan los estudios realizados por el Instituto JKMRC de Australia y el nuevo concepto de dureza para molienda SAG denominado SAG Power Index (SPI) desarrollado por el grupo canadiense MINNOVEX.

1.2 Bases Teóricas

La ciencia básica involucrada en la conminución es la mecánica de fractura; sin embargo, su aplicación es mínima ya que es tan difícil correlacionar estos conceptos teóricos con los cálculos de diseño.

A pesar de ello es importante destacar el conocimiento de esta ciencia para ayudar al mayor entendimiento del proceso de conminución.

La ruptura de un cuerpo sólido requiere la aplicación de esfuerzos suficientes sobre el material para romper los enlaces entre los átomos de la red cristalina. Si a un material ideal, considerando como tal a aquél que posee una red cristalina perfecta, se le aplican esfuerzos homogéneos, éste no puede romperse. Al aumentar los esfuerzos, tal material deformaría isotrópicamente aumentando las distancias entre sus átomos en forma homogénea. Cuando los esfuerzos sobrepasasen la resistencia del material, éste sería separado en sus componentes. Si lo anterior no ocurre en la práctica, se debe sencillamente a que los materiales ideales no existen. Los sólidos siempre contienen imperfecciones que cambian su comportamiento. Particularmente, los minerales están compuestos de granos de diversas especies mineralógicas y cada una de éstas, de muchos cristales. Esto significa que los minerales son intrínsecamente materiales heterogéneos.

Si se aplican esfuerzos en un cierto plano del material, éste se romperá, ocurriendo fracturas cuando las tensiones locales sobrepasan las fuerzas interatómicas. La fractura se denominará quiebre cuando la tensión local es mayor que la resistencia cohesiva del material y el plano de fractura sea perpendicular al plano de esfuerzos. Si la tensión local se hace mayor a la resistencia de cizalle cohesivo, el material se fracturará en un plano que no es perpendicular al de los esfuerzos y la fractura se denominará cedencia. El tipo de fractura producido en un material depende principalmente del tipo de esfuerzo aplicado. En la conminución, los esfuerzos normales son más importantes como forma de aplicación de fuerzas para la ruptura de los minerales; sin embargo, la importancia relativa del cizalle dependerá de la magnitud de las esfuerzos a las que es sometido el material.

Aplicaciones Cualitativas de la Teoría de Fractura: Energía de Molienda

Las rocas, minerales y carbones al ser fracturados en máquinas de reducción de tamaño sufrirán generalmente una fractura frágil a partir de las fallas de Griffith preexistentes. La resistencia a la molienda o moliendabilidad de estos materiales correlacionará sólo aproximadamente con la dureza o la resistencia de los enlaces químicos porque el número, tamaño y orientación de los defectos son variables adicionales. Los materiales son más fuertes en compresión que en tensión.

Dificultad de Fracturar Partículas Pequeñas

1. Inherentemente más resistentes
2. Escasa probabilidad de captura de partículas pequeñas
3. Amortiguación de impactos por finos
4. Propiedades del lecho dan menor captura
5. Reintegración

CAPITULO II

WORK INDEX – INDICE ENERGÉTICO DE MOLIENDA

La tercera teoría de la conminución, frecuentemente llamada teoría de Bond, fue publicada por Fred C. Bond en 1952. Desde entonces esta teoría ha sido ampliamente usada en la industria minera, para el dimensionamiento de equipos y evaluación de su performance. Aunque otras dos teorías de conminución fueron desarrolladas por Rittinger en 1867 y otra por Kick en 1885; éstas tuvieron una aplicación limitada, porque no estuvieron de acuerdo con el sistema de conminución comercial (Bond, 1961).

La tercera teoría de Bond se resume en la siguiente ecuación:

$$W : W_i \times (10 / \sqrt{P_{80}} - 10 / \sqrt{F_{80}})$$

W : Consumo de energía específica : Kwh/tc

W_i : Work Index : Kwh/tc

P₈₀: 80% Passing del producto : Micrones

F₈₀: 80% Passing del alimento : Micrones

Númericamente el Work Index es la energía requerida en Kwh/tc para reducir un material de un tamaño infinito hasta una granulometría de 80% pasante en 100 micrones, equivalente a 67% pasante en 74 micrones (malla 200).

El W_i es un parámetro empírico y no es como la ley de un mineral, que puede ser absolutamente precisa, por lo tanto, depende tanto del material

(resistencia a la conminución), como del equipo utilizado (incluyendo la malla de corte del clasificador para un circuito cerrado).

El Work Index es un parámetro muy usado en el diseño de equipos de molienda convencional y en la determinación de la capacidad de tratamiento de una planta. También es utilizado para la evaluación de circuitos industriales en operación.

Otra aplicación del Work Index está referido al área de planeamiento con el cual es posible predecir las variaciones de la capacidad de planta en función de las características del material que se tratará en un futuro.

2.1 Determinación de Work Index

El Work Index puede ser determinado a partir de pruebas de laboratorio o datos de operación.

El método estándar de Laboratorio, para determinar el Work Index fue desarrollado por F.C. Bond. El cual considera realizar las pruebas de moliendabilidad en un molino con características especiales y un procedimiento estándar. Esta metodología es ampliamente conocida y aceptada por la comunidad investigadora e industrial. Sin embargo, su desarrollo requiere de un tiempo significativo y contar con personal calificado.

En atención a lo anterior y con el propósito de incrementar la base de datos, en cantidad y calidad, es que se ha considerado la aplicación de metodologías alternativas que permitan determinar el Work Index en un tiempo significativamente menor al requerido por el método de Bond.

Los métodos alternativos desarrollados en este estudio son:

- Método de Berry & Bruce, que requiere muestras de referencia.
- Método de Anaconda simplificado, que requiere un molino común de laboratorio previamente calibrado.
- Método Modificado de Bond-Corto, el cual requiere un molino de Bond, previamente calibrado.
- Método Industrial, en función de datos operacionales de planta.

A continuación se describe el desarrollo de los métodos propuestos con el propósito de comparar sus resultados, verificar el grado de correlación y demostrar su aplicación en diversos casos.

2.1.1 Método Estándar de Bond

Resumen

El Work Index de Bond se determina en un molino estándar Modelo BICO de 12" diám x 12" largo, que gira a 70 RPM, el cual posee esquinas redondeadas y contiene una carga balanceada de bolas de acero con un peso total de 20126 gr.

La alimentación al molino consta de una muestra triturada 100%-6M, con un volumen aparente de 700 cm³ (medido en una probeta graduada). Esta muestra es pesada y molida en seco.

Paralelamente a esto se realiza un análisis granulométrico de la muestra de alimentación, para obtener el porcentaje de fino en la malla de corte y calcular el F_{80} .

Entonces se simula una operación, en circuito cerrado, con 250% de carga circulante, utilizando la malla 65 como corte, para cerrar el circuito.

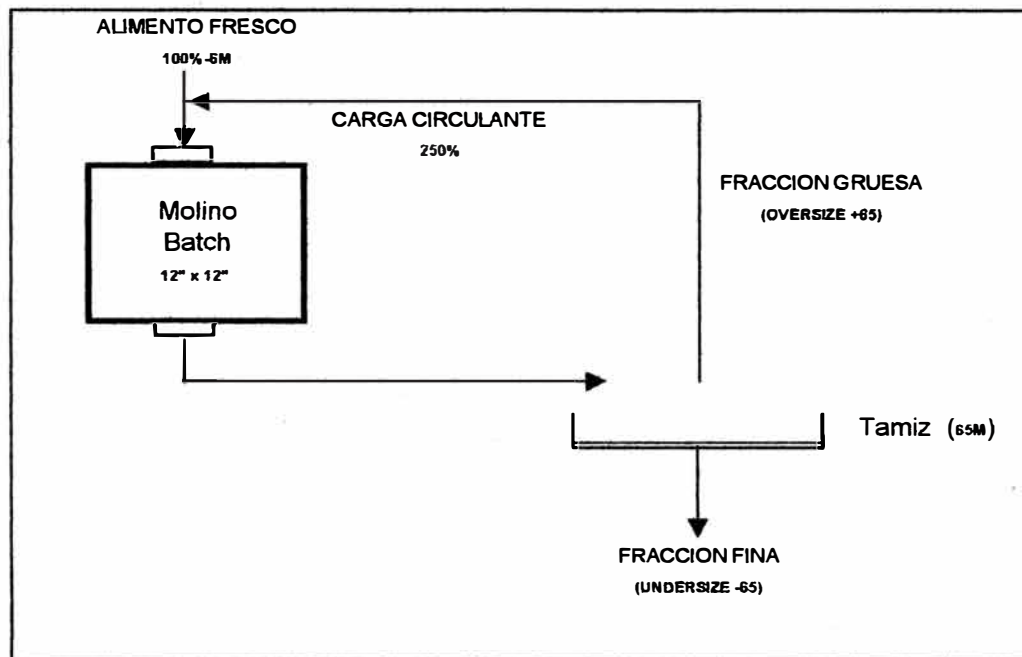
La prueba se inicia moliendo la muestra a 100 revoluciones, el producto molido se descarga sobre una parrilla, luego es tamizada en seco en la malla de corte seleccionada. Se pesa y retira el undersize (-) y seguidamente se adiciona muestra de alimentación fresca al oversize (+), para mantener el peso inicial. Se continúa moliendo por un número de revoluciones calculado para producir 250% de carga circulante (equivalente a 1/3.5 veces el peso total de la muestra alimentada), repitiendo dicho procedimiento hasta alcanzar las condiciones de equilibrio.

Una vez llegado al equilibrio, se analiza granulométricamente el undersize del tamiz (producto final del circuito de molienda) y se calcula el P_{80} . El índice de moliendabilidad de la muestra Gpb (gramos de fino obtenido por revolución), se obtiene promediando los tres últimos valores.

Diagrama

Figura N° 1

DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE MOLIENDA- CLASIFICACION SIMULADO



Metodología Experimental

El Wi es una prueba de moliendabilidad que consiste en un proceso de ciclo cerrado de molienda y clasificación en seco, el cual es corrido hasta obtener un estado de equilibrio.

Equipo

La prueba es realizada en un molino especial de bolas, con características específicas. Las dimensiones internas son de 12" diám x 12" largo.

La velocidad de trabajo es 70 RPM y está equipado con un contador de revoluciones. La carga de bolas consiste en 285 unidades de bolas de acero, y mantiene una distribución de tamaños estándar.

TABLA N° 1

Distribución de Carga de Bolas para Ensayos de Work Index de Bond

MOLINO	DIÁMETRO DE BOLA Pulg.	NUMERO DE BOLAS Unid.	NUMERO DE BOLAS %.	PESO UNITARIO gr	PESO PARC DE BOLAS gr	PESO PARCIAL %	AREA SUPERFIC. Pulg ²	DIAM. PROM. DE BOLA Pulg.
BOND	1.45	43	15.1	204.7	8803	43.7	284	
	1.17	67	23.5	107.6	7211	35.8	288	
	1.00	10	3.5	67.2	672	3.3	31	
	0.75	71	24.9	28.3	2009	10.0	125	
	0.61	94	33.0	15.2	1430	7.1	110	
TOTAL		285			20126		839	1.21

Muestra

La granulometría de alimentación, para estas pruebas, requiere un material chancado a 100% menos 6 Mallas.

Para cerrar el ciclo de molienda se requiere una malla de corte, la cual es especificada por el usuario. En este caso, se ha seleccionado la malla 65 tyler.

Las muestras con alta proporción de finos presentan dificultad en el tamizado en seco, motivo por el cual se recomienda un especial cuidado en la preparación mecánica.

Procedimiento

Determinación del F_{80} de la muestra.

Determinación del peso de muestra para un volumen de 700 cc. El peso de este volumen de muestra es la carga inicial para el molino y es mantenido durante el desarrollo de la prueba.

El primer ciclo de molienda se inicia con 100 revoluciones. La muestra molida es tamizada en seco, en la malla 65 tyler, con el objeto de retirar los finos.

La fracción de sobretamaño es retornada al molino para el siguiente ciclo, siendo la carga fina reemplazada por un peso igual de muestra fresca.

Las unidades de peso de producto fino, producido en términos de gr/revolución, se le denomina moliendabilidad del ciclo, y es usado para estimar el número de revoluciones requerido para el próximo ciclo de molienda, con el cual se produzca una carga circulante de 250%.

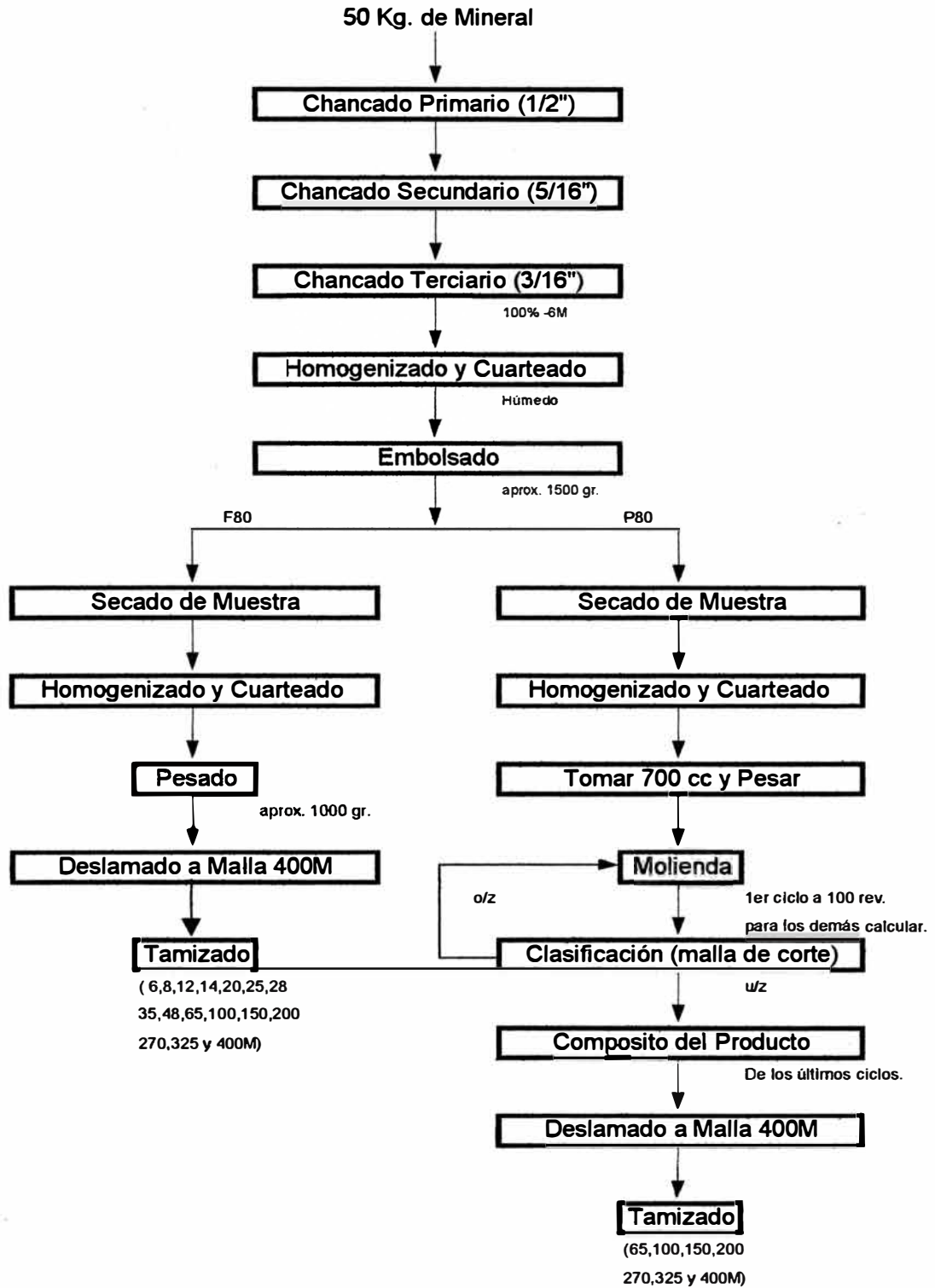
Los ciclos cerrados se continúan hasta encontrar un estado de equilibrio. En este punto, el peso del producto fino deberá alcanzar el 250% de la carga requerida.

El equilibrio se encuentra luego de 6 a 11 ciclos de molienda. Los resultados de los 3 últimos ciclos se promedian y se consideran como valores absolutos para los cálculos respectivos.

Con el producto fino, de los tres últimos ciclos se determina el P_{80} .

FIGURA N°2

PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO DE W.I. POR EL METODO DE BOND.



Ecuación

Finalizado el test de moliendabilidad, el W_i es calculado usando la ecuación empírica determinada por Bond:

$$W_i : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10\sqrt{F_{80}})}$$

P1 : 100% Passing -65M : Micrones

Gpb : Índice de moliendabilidad : g/rev.

P80 : 80% Passing del producto : Micrones

F80 : 80% Passing del alimento : Micrones

Resultados

TABLA N° 2

N° Prueba	MUESTRA	F80 μ	P80 μ	MOLIENDABILIDAD g/rev	WORK INDEX DE BOND Kwh/tc
1	Alimentación Molino 2	2292	155	2.08	12.0

PRUEBA N° 1

MUESTRA : Alimentación Molino 2
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M	
Peso de la Muestra	:	1295	gr.
Malla de Corte (-65M)	:	23.0	%
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	370.0	gr.

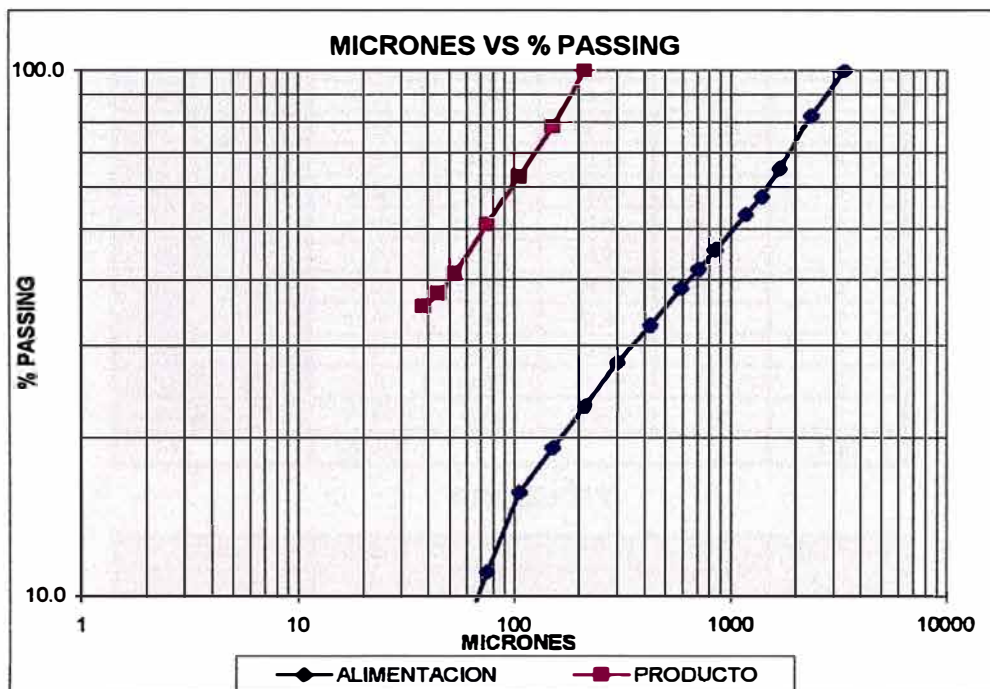
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.			
Peso del producto	:	369.5	gr.
Carga Circulante	:	250.4	%

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$

P1	: 100% Passing -65M	:	212	micrones
Gpb	: Índice de moliendabilidad	:	2.08	gr/rev.
P ₈₀	: 80% Passing del producto	:	155	micrones
F ₈₀	: 80% Passing del alimento	:	2292	micrones

WORK INDEX DE BOND	:	12.0	
---------------------------	---	-------------	--



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.	
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65		
1	100	1295.00	997.16	297.84	824.78	470.22	172.38	1.72	
2	152	470.22	362.07	108.15	883.50	411.50	303.35	2.00	
3	138	411.50	316.86	94.64	920.00	375.00	280.36	2.03	
4	140	375.00	288.75	86.25	933.11	361.89	275.64	1.97	
5	145	361.89	278.66	83.23	906.77	388.23	305.00	2.10	
6	134	388.23	298.94	89.29	917.77	377.23	287.94	2.16	
7	131	377.23	290.47	86.76	928.14	366.86	280.10	2.13	
8	134	366.86	282.49	84.37	944.66	350.34	265.97	1.98	
9	146	350.34	269.76	80.58	903.56	391.44	310.86	2.13	
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS							369.55		2.08

ALIMENTACION

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones
			Ind.	Acc	Pass	80% Pass
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	236.04	18.23	18.23	81.77	2292
10	1700	216.54	16.72	34.95	65.05	0
12	1400	96.08	7.42	42.37	57.63	0
14	1180	55.57	4.29	46.66	53.34	0
20	850	100.15	7.73	54.39	45.61	0
24	710	48.45	3.74	58.13	41.87	0
28	589	43.23	3.34	61.47	38.53	0
35	425	74.24	5.73	67.20	32.80	0
48	300	64.37	4.97	72.18	27.82	0
65	212	62.49	4.83	77.00	23.00	0
100	150	49.43	3.82	80.82	19.18	0
150	106	43.90	3.39	84.21	15.79	0
200	75	60.27	4.65	88.86	11.14	0
270	53	45.81	3.54	92.40	7.60	0
325	45	7.45	0.58	92.97	7.03	0
400	38	36.32	2.80	95.78	4.22	0
-400	-38	54.66	4.22	100.00	0.00	0
TOTAL		1295.00				2292

PRODUCTO

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones
			Ind.	Acc	Pass	80% Pass
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	155
100	150	80.36	21.74	21.74	78.26	0
150	106	57.09	15.45	37.19	62.81	0
200	75	43.63	11.80	48.99	51.01	0
270	53	36.81	9.96	58.95	41.05	0
325	45	12.26	3.32	62.27	37.73	0
400	38	7.60	2.06	64.33	35.67	0
-400	-38	131.85	35.67	100.00	0.00	0
TOTAL		369.60				155

Variación del Work Index de Bond con respecto a la malla de corte para un material de cuarzo

TABLA N° 3

MALLA DE CORTE	WORK INDEX DE BOND Kwh/tc
48	13.2
65	13.4
100	15.4
150	16.4
200	20.5
Promedio	15.8

Variación del Work Index de Bond con respecto a la malla de alimentación vs. 10 y la malla de corte 65 vs. 100 para un mineral de cobre.

TABLA N° 4

N° Prueba	Malla de Alimentación	F80 μ	P80 μ	MOLIENDABILIDAD g/rev	WORK INDEX DE BOND Kwh/tc
	Malla de Corte				
2	6M/65 M	2270	154	1.99	12.4
3	6M/100M	2270	108	1.51	13.3
4	10M/65M	1103	160	2.36	13.1
5	10M/100M	1103	111	1.68	14.2

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND

PRUEBA N° 2

MUESTRA : Alimentación Molino 2

CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M
Peso de la Muestra	:	1295.4 gr.
Malla de Corte (-65M)	:	26.9 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	370.1 gr.

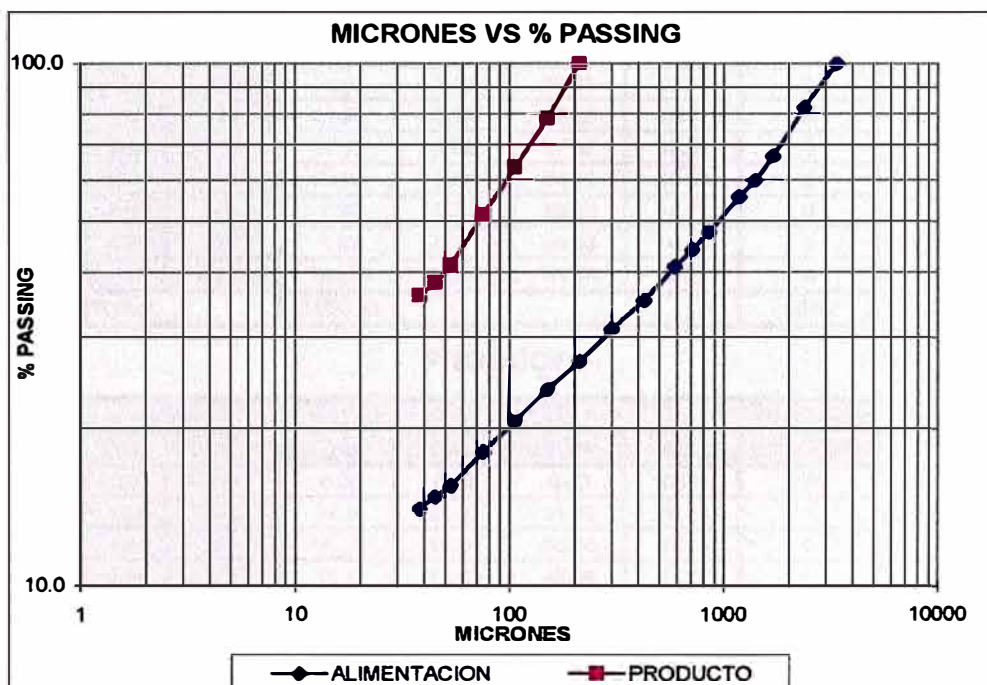
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.		
Peso del producto	:	370.5 gr.
Carga Circulante	:	249.7 %

$$Wi : \frac{44.5}{P_1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$$

P1	: 100% Passing -65M	:	212 micrones
Gpb	: Índice de molindabilidad	:	1.99 gr/rev.
P₈₀	: 80% Passing del producto	:	154 micrones
F₈₀	: 80% Passing del alimento	:	2270 micrones

WORK INDEX DE BOND : 12.4



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# ciclo	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1295.40	947.28	348.12	807.32	488.08	139.96	1.40
2	171	488.08	356.92	131.16	855.27	440.13	308.97	1.81
3	139	440.13	321.85	118.28	912.00	383.40	265.12	1.91
4	140	383.40	280.37	103.03	931.90	363.50	260.47	1.86
5	147	363.50	265.82	97.68	916.60	378.80	281.12	1.92
6	140	378.80	277.00	101.80	912.37	383.03	281.23	2.01
7	133	378.80	277.00	101.80	926.55	368.85	267.05	2.00
8	134	368.85	269.73	99.12	935.90	359.50	260.38	1.94
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						370.46		1.99

ALIMENTACION

Malla Tyler	Mallas Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
			Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	183.70	17.82	17.82	82.18	2270
10	1700	162.31	15.75	33.57	66.43	0
12	1400	70.51	6.84	40.41	59.59	0
14	1180	42.48	4.12	44.53	55.47	0
20	850	81.42	7.90	52.43	47.57	0
24	710	36.60	3.55	55.98	44.02	0
28	589	32.42	3.15	59.12	40.88	0
35	425	59.62	5.78	64.91	35.09	0
48	300	42.00	4.07	68.98	31.02	0
65	212	42.73	4.15	73.13	26.87	0
100	150	31.97	3.10	76.23	23.77	0
150	106	31.99	3.10	79.33	20.67	0
200	75	27.15	2.63	81.97	18.03	0
270	53	26.08	2.53	84.50	15.50	0
325	45	7.52	0.73	85.23	14.77	0
400	38	7.97	0.77	86.00	14.00	0
-400	-38	144.33	14.00	100.00	0.00	0
TOTAL		1030.80				2270

PRODUCTO

Malla Tyler	Mallas Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
			Ind.	Acc	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	154
100	150	79.18	21.56	21.56	78.44	0
150	106	56.19	15.30	36.86	63.14	0
200	75	43.43	11.83	48.69	51.31	0
270	53	37.16	10.12	58.81	41.19	0
325	45	11.31	3.08	61.89	38.11	0
400	38	7.71	2.10	63.99	36.01	0
-400	-38	132.23	36.01	100.00	0.00	0
TOTAL		367.20				154

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND

PRUEBA N° 3

MUESTRA : Alimentación Molino 2

CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M	
Peso de la Muestra	:	1295	gr.
Malla de Corte (-100M)	:	23.8	%
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	370.0	gr.

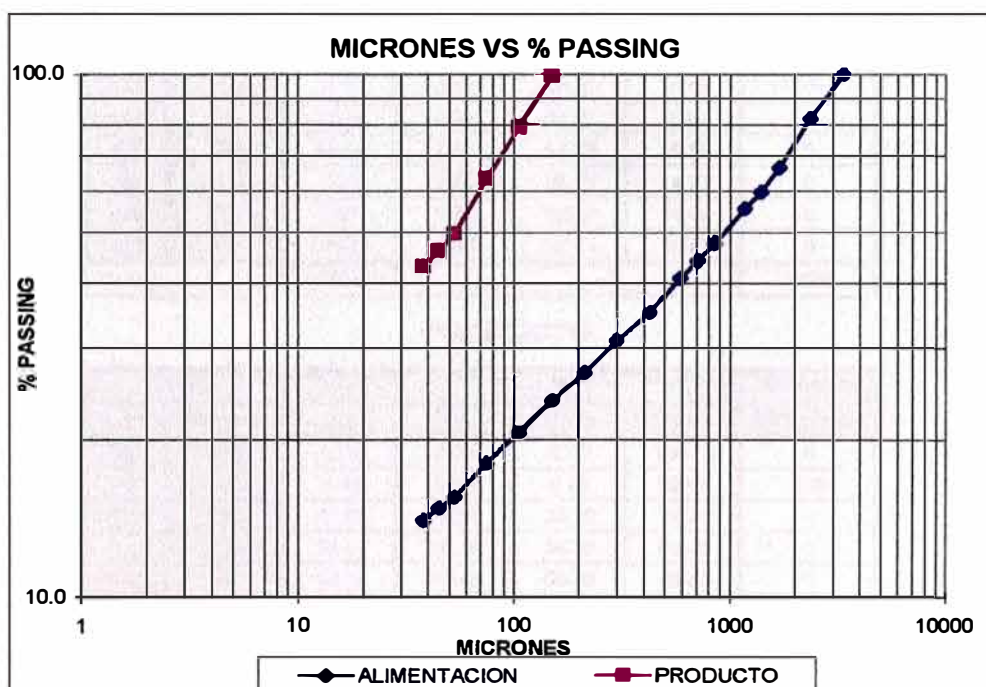
RESULTADOS:

Promedio de los dos últimos ciclos.			
Peso del producto	:	369.8	gr.
Carga Circulante	:	250.2	%

Wi :	$\frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$
-------------	--

P1	: 100% Passing -65M	:	150	micrones
Gpb	: Índice de moliendabilidad	:	1.51	gr/rev.
P₈₀	: 80% Passing del producto	:	108	micrones
F₈₀	: 80% Passing del alimento	:	2270	micrones

WORK INDEX DE BOND	:	13.3
---------------------------	---	------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# ciclo	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1295.00	987.15	307.85	899.41	395.59	87.74	0.88
2	315	395.59	301.55	94.04	766.55	528.45	434.41	1.38
3	177	528.45	402.83	125.62	899.79	395.21	269.59	1.52
4	181	395.21	301.26	93.95	929.70	365.30	271.35	1.50
5	189	365.30	278.46	86.84	920.80	374.20	287.36	1.52
6								
7								
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS DOS CICLOS						369.75		1.51

ALIMENTACION

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	183.70	17.82	17.82	82.18	2270
10	1700	162.31	15.75	33.57	66.43	0
12	1400	70.51	6.84	40.41	59.59	0
14	1180	42.48	4.12	44.53	55.47	0
20	850	81.42	7.90	52.43	47.57	0
24	710	36.60	3.55	55.98	44.02	0
28	589	32.42	3.15	59.12	40.88	0
35	425	59.62	5.78	64.91	35.09	0
48	300	42.00	4.07	68.98	31.02	0
65	212	42.73	4.15	73.13	26.87	0
100	150	31.97	3.10	76.23	23.77	0
150	106	31.99	3.10	79.33	20.67	0
200	75	27.15	2.63	81.97	18.03	0
270	53	26.08	2.53	84.50	15.50	0
325	45	7.52	0.73	85.23	14.77	0
400	38	7.97	0.77	86.00	14.00	0
-400	-38	144.33	14.00	100.00	0.00	0
TOTAL		1030.80				2270

PRODUCTO

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	0
100	150	3.49	0.95	0.95	99.05	108
150	106	72.95	19.84	20.79	79.21	0
200	75	59.44	16.16	36.95	63.05	0
270	53	49.26	13.40	50.35	49.65	0
325	45	13.57	3.69	54.04	45.96	0
400	38	11.04	3.00	57.04	42.96	0
-400	-38	157.97	42.96	100.00	0.00	0
TOTAL		367.70				108

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND PRUEBA N° 4

MUESTRA : Alimentación Molino 2

CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-10M
Peso de la Muestra	:	1356.78 gr.
Malla de Corte (-65M)	:	34.7 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	387.7 gr.

RESULTADOS:

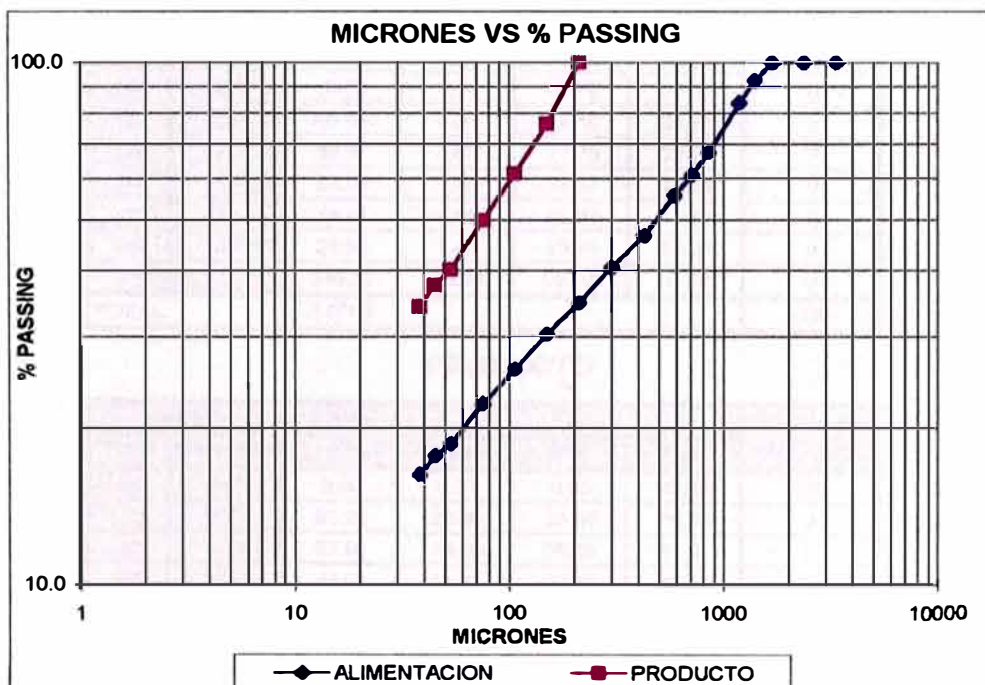
Promedio del último ciclo.

Peso del producto	:	388.6 gr.
Carga Circulante	:	249.2 %

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10/\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$
--

P1	: 100% Passing -65M	:	212 micrones
Gpb	: Índice de molidabilidad	:	2.36 gr/rev
P ₈₀	: 80% Passing del producto	:	160 micrones
F ₈₀	: 80% Passing del alimento	:	1103 micrones

WORK INDEX DE BOND	:	13.1
---------------------------	---	-------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1356.78	885.73	471.05	764.40	592.38	121.33	1.21
2	150	592.38	386.71	205.67	865.43	491.35	285.68	1.90
3	114	491.35	320.76	170.59	939.18	417.60	247.01	2.17
4	112	417.60	272.62	144.98	950.68	406.10	261.12	2.33
5	105	406.10	265.11	140.99	968.20	388.58	247.59	2.36
6								
7								
8								
PROMEDIO DEL ULTIMO CICLO						388.58		2.36

ALIMENTACION

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	0.00	0.00	0.00	100.00	0
10	1700	0.00	0.00	0.00	100.00	0
12	1400	114.10	7.78	7.76	92.24	0
14	1180	123.94	8.42	16.18	83.82	1103
20	850	240.63	16.36	32.54	67.46	0
24	710	93.81	6.38	38.91	61.09	0
28	589	78.11	5.31	44.22	55.78	0
35	425	133.77	9.09	53.31	46.69	0
48	300	90.38	6.14	59.46	40.54	0
65	212	85.68	5.82	65.28	34.72	0
100	150	66.31	4.51	69.79	30.21	0
150	106	63.36	4.31	74.10	25.90	0
200	75	53.47	3.63	77.73	22.27	0
270	53	53.51	3.64	81.37	18.63	0
325	45	14.11	0.96	82.33	17.67	0
400	38	21.09	1.43	83.76	16.24	0
-400	-38	238.93	16.24	100.00	0.00	0
TOTAL		1471.2				1103

PRODUCTO

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	160
100	150	91.26	23.66	23.66	76.34	0
180	106	57.98	15.03	38.69	61.31	0
200	75	44.01	11.41	50.10	49.90	0
270	53	37.71	9.78	59.88	40.12	0
325	45	10.18	2.64	62.52	37.48	0
400	38	13.12	3.40	65.92	34.08	0
-400	-38	131.47	34.08	100.00	0.00	0
TOTAL		385.7				160

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND PRUEBA N° 5

MUESTRA : Alimentación Molino 2
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-10M
Peso de la Muestra	:	1356.8 gr.
Malla de Corte (-100M)	:	30.2 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	387.7 gr.

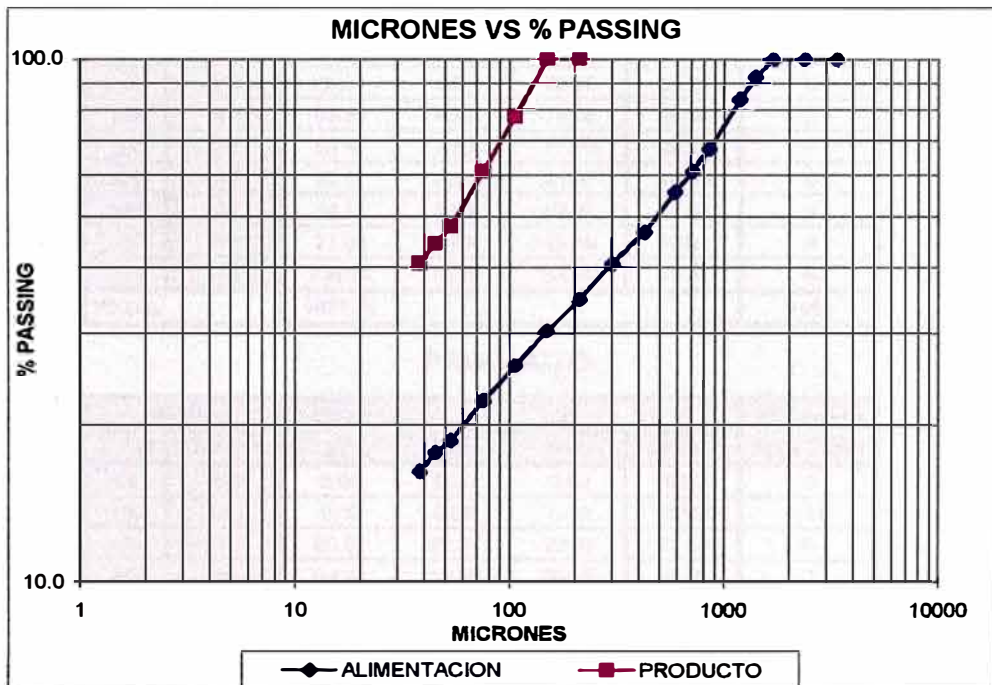
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.		
Peso del producto	:	388.2 gr.
Carga Circulante	:	249.5 %

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10/\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$
--

P1 : 100% Passing -65M	:	150 micrones
Gpb : Índice de molliendabilidad	:	1.68 gr/rev
P ₈₀ : 80% Passing del producto	:	111 micrones
F ₈₀ : 80% Passing del alimento	:	1103 micrones

WORK INDEX DE BOND	:	14.2
---------------------------	---	-------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# CICLO	REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1356.80	946.89	409.91	894.78	462.02	52.11	0.52
2	476	462.02	322.44	139.58	578.96	777.84	638.26	1.34
3	114	777.84	542.84	235.00	948.16	408.64	173.64	1.52
4	173	408.64	285.18	123.46	939.92	416.88	293.42	1.69
5	155	416.88	290.93	125.95	976.57	380.23	254.28	1.64
6	166	380.23	265.36	114.87	959.12	397.68	282.81	1.71
7	160	380.23	265.36	114.87	974.50	382.30	267.43	1.67
8	163	382.30	266.80	115.50	972.27	384.53	269.03	1.65
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						388.17		1.68

ALIMENTACION

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass ^A
			Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	0.00	0.00	0.00	100.00	0
10	1700	0.00	0.00	0.00	100.00	0
12	1400	114.10	7.76	7.76	92.24	0
14	1180	123.94	8.42	16.18	83.82	1103
20	850	240.63	16.36	32.54	67.46	0
24	710	93.81	6.38	38.91	61.09	0
28	589	78.11	5.31	44.22	55.78	0
35	425	133.77	9.09	53.31	46.69	0
48	300	90.38	6.14	59.46	40.54	0
65	212	85.68	5.82	65.28	34.72	0
100	150	66.31	4.51	69.79	30.21	0
150	106	63.36	4.31	74.09	25.91	0
200	75	53.47	3.63	77.73	22.27	0
270	53	53.51	3.64	81.37	18.63	0
325	45	14.11	0.96	82.33	17.67	0
400	38	21.09	1.43	83.76	16.24	0
-400	-38	238.94	16.24	100.00	0.00	0
TOTAL		1471.21				1103

PRODUCTO

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
			Ind.	Acc	Pass ^B	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	0
100	150	0.00	0.00	0.00	100.00	111
150	106	86.82	22.37	22.37	77.63	0
200	75	64.25	16.55	38.92	61.08	0
270	53	51.41	13.25	52.17	47.83	0
325	45	13.63	3.51	55.68	44.32	0
400	38	13.94	3.59	59.27	40.73	0
-400	-38	158.06	40.73	100.00	0.00	0
TOTAL		388.10				111

2.1.2 Método Comparativo de Berry & Bruce

Resumen

En 1966 Berry & Bruce, desarrollaron un nuevo método para determinar Work Index, mediante la comparación de análisis granulométricas con muestras de referencia, previamente ensayados con la metodología de Bond.

Metodología Experimental

Esta prueba consiste en un proceso de ciclo abierto de molienda en húmedo, considerando similar tiempo de molienda, porcentaje de sólidos y carga moledora.

Equipo

El molino utilizado es un molino ordinario de laboratorio, cuyas dimensiones son de 6" diám x 12" largo.

La velocidad de trabajo es de 70 RPM. El sistema de transmisión es a base de rodillos.

La carga moledora consiste en 4 barras de 1" de diámetro y 18 barras de $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Muestra

La granulometría de alimentación para estas pruebas, requiere un material chancado a 100% menos 10 mallas.

El peso de muestra requerido es de 750 gr. preparado al 64% de sólidos.

Procedimiento

Determinación del F_{80} para las muestras de referencia y la desconocida. Realizar una prueba de molienda con 750 gr. de mineral desconocido al 64% de sólidos por un tiempo de 4 minutos y 7 segundos. Continuar con el análisis granulométrico del producto de molienda, con el objeto de determinar el P_{80} .

Repetir el mismo procedimiento para la muestra del mineral de referencia, con Work Index de Bond conocido.

Ecuación

Partiendo de la premisa de que ambas muestras fueron molidas en idénticas condiciones, entonces la energía gastada en la molienda del mineral desconocido, es aproximadamente igual a la energía gastada con el mineral de referencia.

Usando la tercera teoría de Bond es posible considerar la siguiente relación:

$$\left[W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right] = \left[W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right]$$

Mineral de referencia Mineral desconocido

Esta relación permite determinar el Work Index del mineral desconocido en base al Work Index del mineral de referencia.

Resultados

TABLA N° 5

N° Prueba	MUESTRA	F80 μ	P80 μ	Constante de proporcionalidad	WORK INDEX DE BOND Kwh/tc
6	De Referencia	1152	230	4.56	12.50
7	Desconocida	1074	132		11.9

RHI METODO BRUCE & BERRY

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

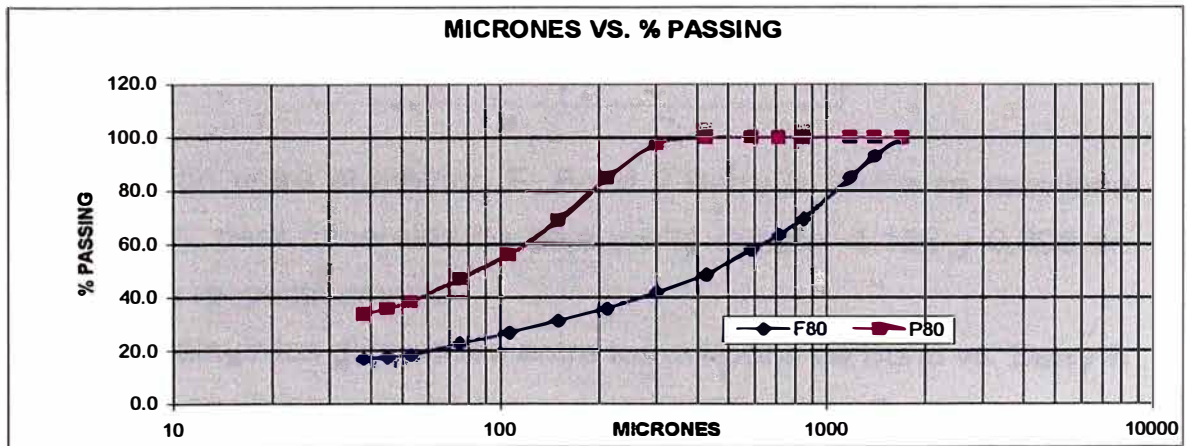
W: 11.9

PRUEBA N° : 6-7

MALLA	ALIMENTACION						MIG. 100% Pasg	MALLA	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.					
	Mic	Peso	%			Mic			Peso	%			Mic	Pasg
			Ind	Acum	Pass					Ind	Acum	Pass		
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
12	1400	53.47	7.1	7.1	92.9	0	12	1400	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
14	1180	59.50	7.9	15.1	84.9	1074	14	1180	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
20	850	115.27	15.4	30.4	69.6	0	20	850	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
24	710	48.32	6.4	36.9	63.1	0	25	707	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
28	589	40.04	5.3	42.2	57.8	0	28	600	0.00	0.0	0.0	100.0	0	
35	425	69.89	9.3	51.5	48.5	0	35	425	1.10	0.1	0.1	99.9	0	
48	300	47.45	6.3	57.9	42.1	0	48	297	18.79	2.5	2.7	97.3	0	
65	212	48.15	6.4	64.3	35.7	0	65	210	94.48	12.6	15.2	84.8	192	
100	150	34.37	4.6	68.9	31.1	0	100	149	119.92	16.0	31.2	68.8	0	
150	106	33.87	4.5	73.4	26.6	0	150	106	96.16	12.8	44.1	55.94	0	
200	75	28.86	3.8	77.2	22.8	0	200	75	69.73	9.3	53.4	46.6	0	
270	53	33.42	4.5	81.7	18.3	0	270	53	61.03	8.1	61.5	38.51	0	
325	45	3.70	0.5	82.2	17.8	0	325	45	18.75	2.5	64.0	36.0	0	
400	38	6.44	0.9	83.0	17.0	0	400	37	18.72	2.5	66.5	33.5	0	
-400		127.25	17.0	100.0	0.0	0	-400		251.32	33.5	100.0	0.0	0	
Mall total		622.75				1074	Mall total		498.68				192	
		750.0							750.0					

RESULTADOS			
TEST		ESTANDAR	
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.	
F80 =	1074	F80 =	1152
P80 =	192	P80 =	230
W =	11.9	W =	12.5
		k =	4.56

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
% Vc	64		



La Recalibración del Método de Berry & Bruce

Este método es simple, rápido y fácil de usar con un molino ordinario de laboratorio. Sin embargo, uno de los principales requerimientos de este método es contar con una gran cantidad de minerales de referencia con Work Index de Bond conocidos .

Se ha considerado una metodología de Berry & Bruce vs. la metodología de Bond concluyendo con el recálculo de nuevas constantes de proporcionalidad para minerales de baja y alta dureza.

TABLA N° 6

N° Prueba	Wi Bond	Wi Berry-Bruce K = 4.56	Relación Bond/B & B	Wi Berry-Bruce K recalculada*
8	12.57	11.200	1.12	12.57
9	13.26	11.480	1.16	12.89
10	13.97	12.650	1.10	14.20
11	15.64	17.180	0.898	15.7
12	14.62	16.292	0.897	14.63

Valor de K	
Dureza	Recalculado
Baja	5.1180
Alta	4.0939

La relación entre el método F. Bond y Berry & Bruce se mantiene constante, para minerales de baja y alta dureza: 1.126 y 0,898 en promedio respectivamente.

Para disminuir las diferencias entre los métodos de Bond vs. Berry & Bruce es posible recalculer las constantes K para ambos casos.

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND PRUEBA N° 8

MUESTRA : Composito F
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M
Peso de la Muestra	:	1415.84 gr.
Malla de Corte (-65M)	:	26.4 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	404.5 gr.

RESULTADOS:

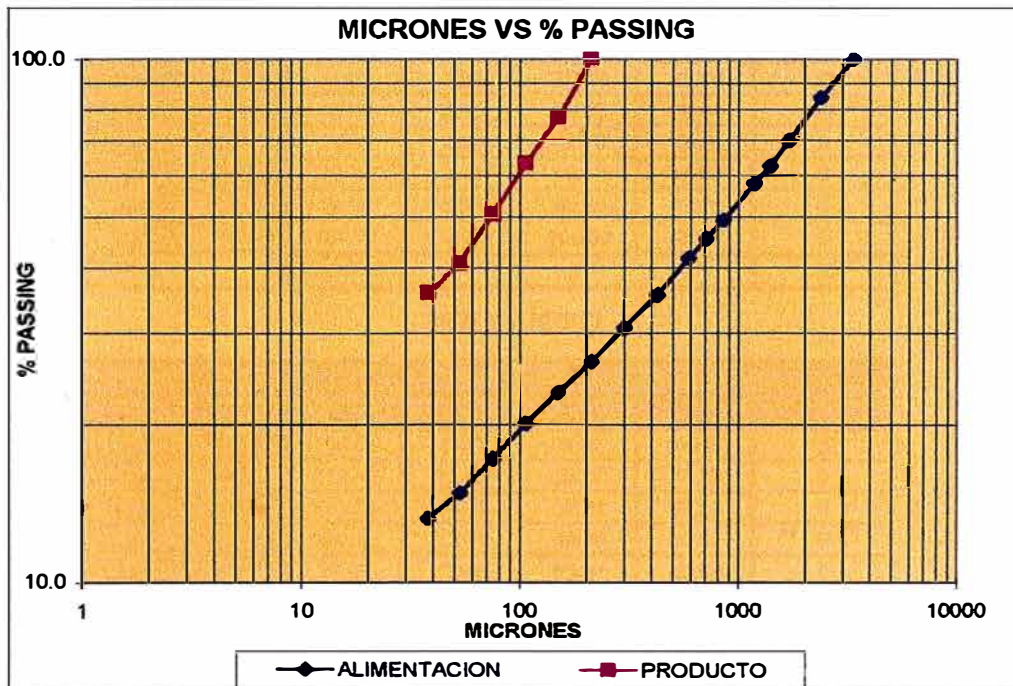
Promedio de los tres últimos ciclos.

Peso del producto	:	405.3 gr.
Carga Circulante	:	249.4 %

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$

P1	: 100% Passing -65M	:	212	micrones
Gpb	: Índice de moliendabilidad	:	2.01	gr/rev.
P ₈₀	: 80% Passing del producto	:	157	micrones
F ₈₀	: 80% Passing del alimento	:	2159	micrones

WORK INDEX DE BOND	:	12.60
---------------------------	---	--------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : ALIMENTACION MOLINO 2

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1415.84	1041.74	374.10	895.97	519.87	145.77	1.46
2	183	519.87	382.51	137.36	942.94	472.90	335.54	1.83
3	153	472.90	347.95	124.95	999.64	416.20	291.25	1.91
4	154	416.20	306.23	109.97	998.10	417.74	307.77	1.99
5	148	417.74	307.36	110.38	1007.21	408.63	298.25	2.02
6	147	408.63	300.66	107.97	1013.36	402.48	294.51	2.01
7	148	408.63	300.66	107.97	1011.19	404.65	296.68	2.01
8								
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						405.25		2.01

ALIMENTACION

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
			Ind.	Acc.	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	189.30	15.50	15.50	84.50	2159
10	1700	178.84	14.65	30.15	69.85	0
12	1400	91.98	7.53	37.68	62.32	0
14	1180	53.92	4.42	42.10	57.90	0
20	850	104.58	8.57	50.67	49.33	0
24	710	48.66	3.99	54.65	45.35	0
28	589	44.94	3.68	58.33	41.67	0
35	425	76.11	6.23	64.57	35.43	0
48	300	58.43	4.79	69.35	30.65	0
65	212	51.60	4.23	73.58	26.42	0
100	150	41.03	3.36	76.94	23.06	0
150	106	35.65	2.92	79.86	20.14	0
200	75	35.40	2.90	82.76	17.24	0
270	53	29.48	2.41	85.17	14.83	0
400	38	19.28	1.58	86.75	13.25	0
-400	-38	161.77	13.25	100.00	0.00	0
TOTAL		1220.97				2159

PRODUCTO

Malla Tyler	Micrones	Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
			Ind.	Acc.	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	157
100	150	179.42	22.67	22.67	77.33	0
150	106	111.61	14.11	36.78	63.22	0
200	75	100.57	12.71	49.49	50.51	0
270	53	78.18	9.88	59.37	40.63	0
325	45	38.75	4.90	64.27	35.73	0
-400	-38	282.74	35.73	100.00	0.00	0
TOTAL		791.27				167

**ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND
PRUEBA N° 9**

MUESTRA : Composito F1
CONDICIONES:

Alimentación 100% : -6M
 Peso de la Muestra : 1499.69 gr.
 Malla de Corte (-65M) : 27.1 %
 Peso del producto a una Carga Circulante de 250% : 428.5 gr.

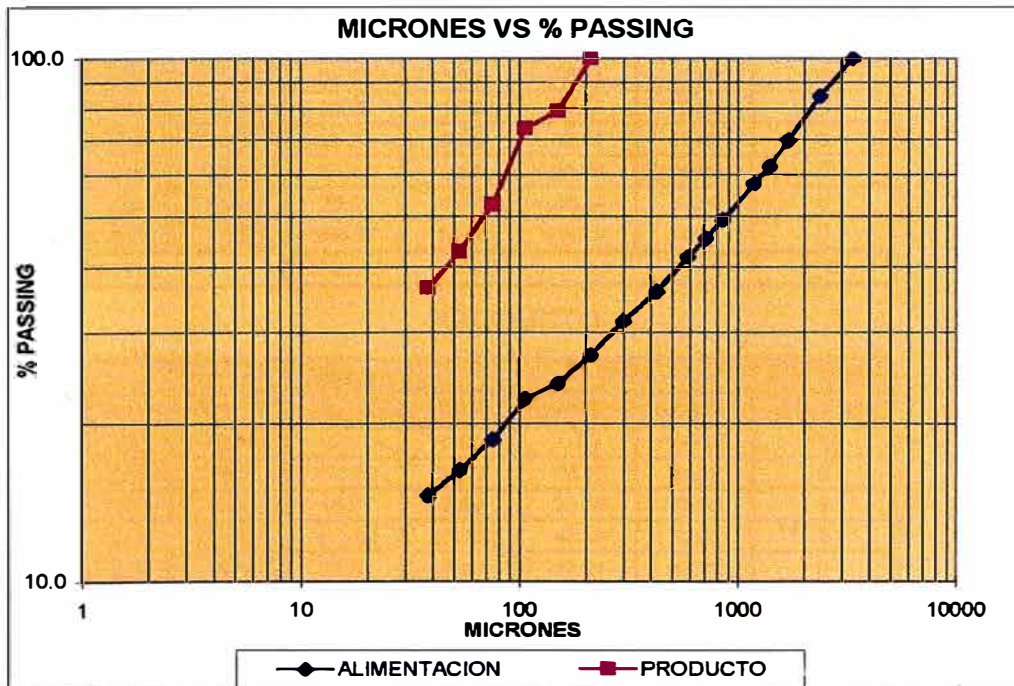
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.
 Peso del producto : 427.2 gr.
 Carga Circulante : 251.1 %

$$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$$

P1 : 100% Passing -65M : 212 micrones
 Gpb : Índice de molindabilidad : 1.84 gr/rev.
 P₈₀ : 80% Passing del producto : 152 micrones
 F₈₀ : 80% Passing del alimento : 2159 micrones

WORK INDEX DE BOND : 13.26



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : COMPOSITO F1

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1499.69	1093.50	406.19	971.18	528.51	122.32	1.22
2	233	528.51	385.36	143.15	968.58	531.11	387.96	1.66
3	171	531.11	387.26	143.85	1059.97	439.72	295.87	1.73
4	179	439.72	320.62	119.10	1067.39	432.30	313.20	1.75
5	178	432.30	315.21	117.09	1064.50	435.19	318.10	1.79
6	174	435.19	317.32	117.87	1060.38	439.31	321.44	1.85
7	167	435.19	317.32	117.87	1074.36	425.33	307.46	1.84
8	171	425.33	310.13	115.20	1070.68	429.01	313.81	1.83
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						427.17		1.84

ALIMENTACION

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	265.11	15.40	15.40	84.60	2159
10	1700	258.18	15.00	30.40	69.60	0
12	1400	130.42	7.58	37.98	62.02	0
14	1180	76.25	4.43	42.41	57.59	0
20	850	144.58	8.40	50.81	49.19	0
24	710	68.24	3.96	54.78	45.22	0
28	589	60.82	3.53	58.31	41.69	0
35	425	100.56	5.84	64.15	35.85	0
48	300	76.03	4.42	68.57	31.43	0
65	212	74.79	4.35	72.92	27.08	0
100	150	54.93	3.19	76.11	23.89	0
150	106	26.35	1.53	77.64	22.36	0
200	75	63.27	3.68	81.31	18.69	0
270	53	41.14	2.39	83.70	16.30	0
400	38	29.91	1.74	85.44	14.56	0
400	-38	250.57	14.56	100.00	0.00	0
TOTAL		1721.15				2159

PRODUCTO

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	152
100	150	176.62	20.77	20.77	79.23	0
150	106	48.37	5.69	26.46	73.54	0
200	75	177.98	20.93	47.39	52.61	0
270	53	83.50	9.82	57.21	42.79	0
325	45	54.35	6.39	63.60	36.40	0
400	-38	309.56	36.40	100.00	0.00	0
TOTAL		850.38				152

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND PRUEBA N° 10

MUESTRA : Composito M
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M
Peso de la Muestra	:	1469.05 gr.
Malla de Corte (-65M)	:	27.9 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	419.7 gr.

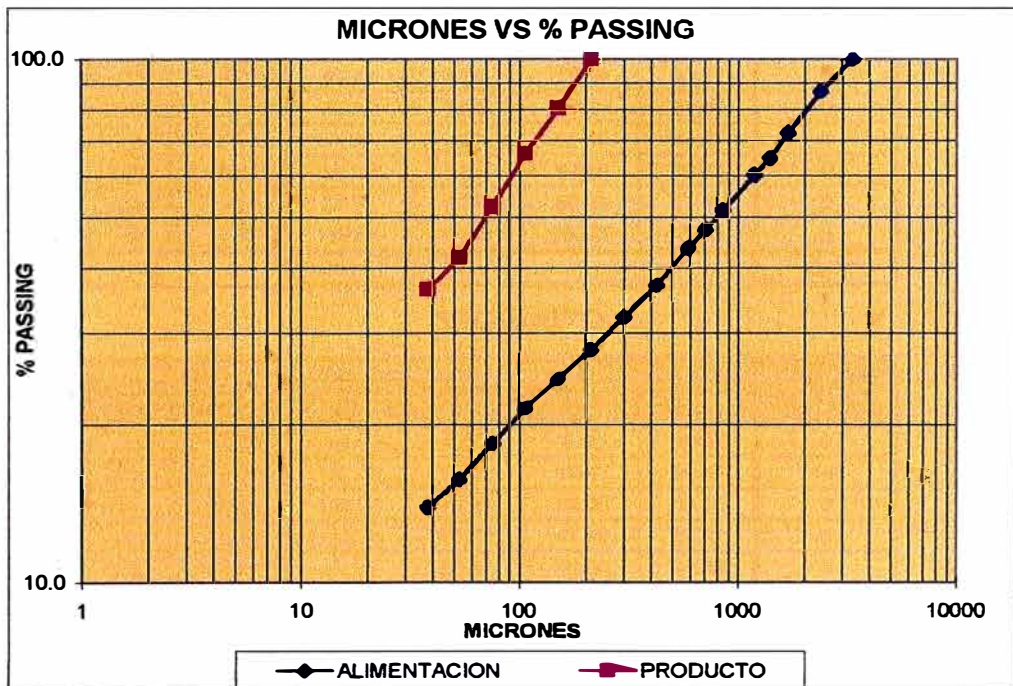
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.		
Peso del producto	:	418.1 gr.
Carga Circulante	:	251.4 %

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10/\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$
--

P1	: 100% Passing -65M	:	212	micrones
Gpb	: Índice de moliendabilidad	:	1.70	gr/rev.
P ₈₀	: 80% Passing del producto	:	148	micrones
F ₈₀	: 80% Passing del alimento	:	2052	micrones

WORK INDEX DE BOND	:	13.97
---------------------------	---	--------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : COMPOSITO M

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION ^{kg}			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1469.05	1059.67	409.38	968.47	500.58	91.20	0.91
2	307	500.58	361.09	139.49	860.55	608.50	469.01	1.53
3	164	608.50	438.93	169.57	1030.25	438.80	269.23	1.64
4	181	438.80	316.52	122.28	1027.30	441.75	319.47	1.76
5	168	441.75	318.65	123.10	1057.44	411.61	288.51	1.72
6	178	411.61	296.91	114.70	1050.94	418.11	303.41	1.71
7	178	411.61	296.91	114.70	1050.98	418.07	303.37	1.70
8								
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						418.07		1.70

ALIMENTACION

Malla ^{mm}		Peso ^g gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc.	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	0
8	2362	178.66	13.19	13.19	86.81	2052
10	1700	196.76	14.53	27.72	72.28	0
12	1400	103.77	7.66	35.38	64.62	0
14	1180	60.76	4.49	39.87	60.13	0
20	850	117.29	8.66	48.53	51.47	0
24	710	55.34	4.09	52.62	47.38	0
28	589	51.44	3.80	56.42	43.58	0
35	425	88.56	6.54	62.95	37.05	0
48	300	66.32	4.90	67.85	32.15	0
65	212	57.98	4.28	72.13	27.87	0
100	150	45.49	3.36	75.49	24.51	0
150	106	40.66	3.00	78.49	21.51	0
200	75	41.90	3.09	81.59	18.41	0
270	53	36.13	2.67	84.26	15.74	0
400	38	24.30	1.79	86.05	13.95	0
-400	-38	188.91	13.95	100.00	0.00	0
TOTAL		1354.27				2062

PRODUCTO

Malla		Peso ^g gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc.	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	0
100	150	162.80	19.47	19.47	80.53	148
150	106	121.96	14.59	34.05	65.95	0
200	75	114.76	13.72	47.78	52.22	0
270	53	87.15	10.42	58.20	41.80	0
325	45	45.18	5.40	63.60	36.40	0
-400	-38	304.33	36.40	100.00	0.00	0
TOTAL		836.18				148

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND

PRUEBA N° 11

MUESTRA : Muestra T
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M
Peso de la Muestra	:	1314.43 gr.
Malla de Corte (-65M)	:	12.8 %
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	375.6 gr.

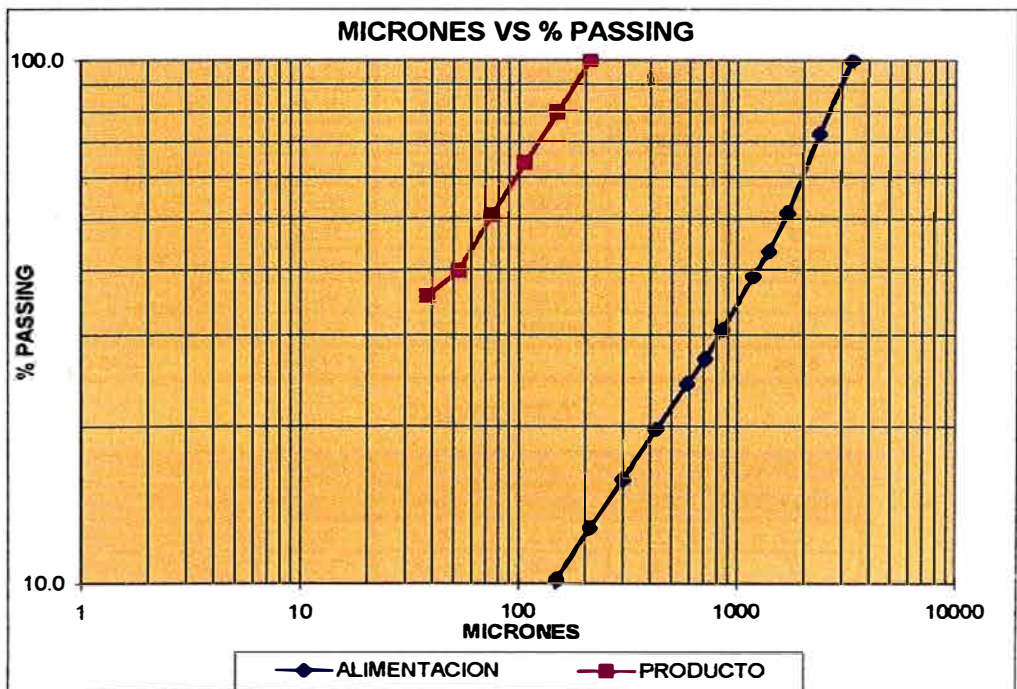
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.		
Peso del producto	:	372.8 gr.
Carga Circulante	:	252.6 %

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10/\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$
--

P1 : 100% Passing -65M	:	212 micrones
Gpb : Índice de moliendabilidad	:	1.43 gr/rev.
P ₈₀ : 80% Passing del producto	:	151 micrones
F ₈₀ : 80% Passing del alimento	:	2630 micrones

WORK INDEX DE BOND	:	15.64
---------------------------	----------	--------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : COMPOSITO M

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1314.43	1146.46	167.97	1037.28	277.15	109.18	1.09
2	312	277.15	241.73	35.42	870.38	444.05	408.63	1.31
3	243	444.05	387.30	56.75	925.63	388.80	332.05	1.37
4	239	388.80	339.11	49.69	946.24	368.19	318.50	1.34
5	246	368.19	321.14	47.05	931.31	383.12	336.07	1.37
6	239	383.12	334.16	48.96	934.25	380.18	331.22	1.39
7	236	380.18	331.60	48.58	924.53	389.90	341.32	1.45
8	225	389.90	340.07	49.83	941.84	372.59	322.76	1.43
9	229	372.59	324.98	47.61	941.37	373.06	325.45	1.42
10								
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS					372.83			1.43

ALIMENTACION

Malla		Peso gr.	%			Micrones
Tyler	Micrones		Ind.	Acc.	Pass	80% Pass
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	2630
8	2362	401.50	27.43	27.43	72.57	0
10	1700	310.34	21.20	48.63	51.37	0
12	1400	119.95	8.19	56.83	43.17	0
14	1180	65.89	4.50	61.33	38.67	0
20	850	118.48	8.09	69.42	30.58	0
24	710	52.51	3.59	73.01	26.99	0
28	589	41.36	2.83	75.84	24.16	0
35	425	64.15	4.38	80.22	19.78	0
48	300	58.20	3.98	84.20	15.80	0
65	212	44.28	3.03	87.22	12.78	0
100	150	38.31	2.62	89.84	10.16	0
150	106	91.53	6.25	96.09	3.91	0
200	75	22.75	1.55	97.65	2.35	0
270	53	15.09	1.03	98.68	1.32	0
400	38	9.24	0.63	99.31	0.69	0
-400	-38	10.13	0.69	100.00	0.00	0
TOTAL		1463.71				2630

PRODUCTO

Malla		Peso gr.	%			Micrones
Tyler	Micrones		Ind.	Acc.	Pass	80% Pass
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	151
100	150	152.77	20.49	20.49	79.51	0
150	106	118.04	15.83	36.32	63.68	0
200	75	97.42	13.07	49.38	50.62	0
270	53	81.47	10.93	60.31	39.69	0
325	45	31.79	4.26	64.57	35.43	0
-400	-38	264.16	35.43	100.00	0.00	0
TOTAL		745.65				151

**ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE BOND
PRUEBA N° 12**

MUESTRA : Muestra T2
CONDICIONES:

Alimentación 100%	:	-6M	
Peso de la Muestra	:	1359.38	gr.
Malla de Corte (-65M)	:	14.5	%
Peso del producto a una Carga Circulante de 250%	:	388.4	gr.

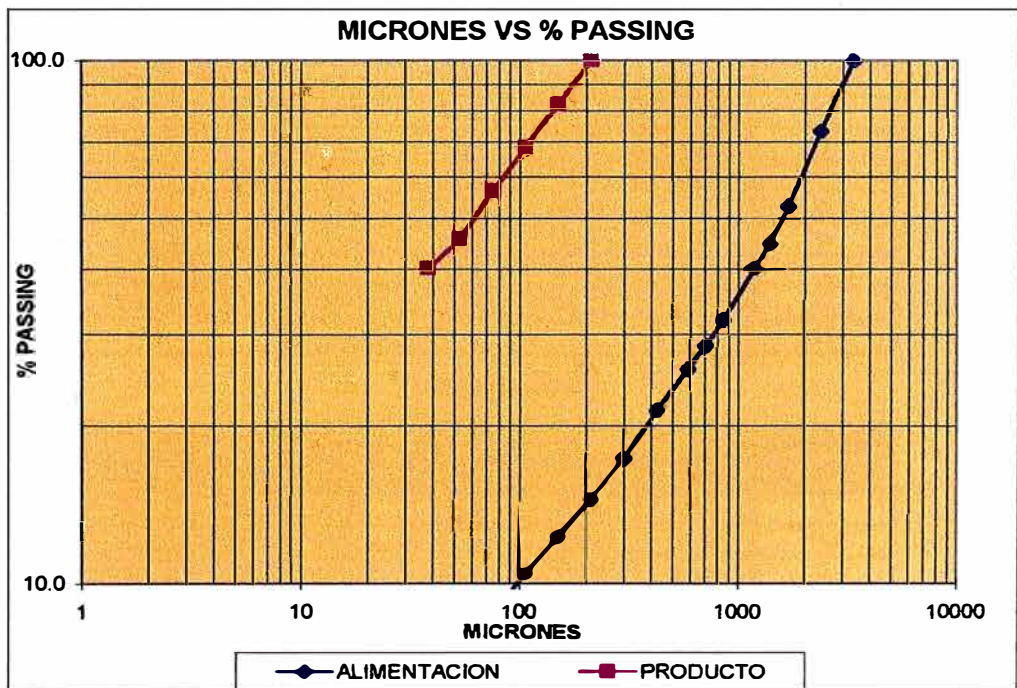
RESULTADOS:

Promedio de los tres últimos ciclos.			
Peso del producto	:	386.4	gr.
Carga Circulante	:	251.8	%

$Wi : \frac{44.5}{P1^{0.23} \times Gpb^{0.82} \times (10\sqrt{P_{80}} - 10/\sqrt{F_{80}})}$

P1 : 100% Passing -65M	:	212	micrones
Gpb : Índice de moliendabilidad	:	1.49	gr/rev.
P₈₀ : 80% Passing del producto	:	143	micrones
F₈₀ : 80% Passing del alimento	:	2612	micrones

WORK INDEX DE BOND	:	14.62
---------------------------	---	--------------



PRUEBA DE MOLIENDABILIDAD

MUESTRA : COMPOSITO M

# CICLO	# REV.	ALIMENTACION			PRODUCTO		NETO	gr/rev.
		TOTAL	+65	-65	+65	-65	-65	
1	100	1359.38	1162.38	197.00	1042.50	316.88	119.88	1.20
2	286	316.88	270.96	45.92	922.44	436.94	391.02	1.37
3	238	436.94	373.62	63.32	959.60	399.78	336.46	1.42
4	233	399.78	341.84	57.94	972.82	386.56	328.62	1.41
5	236	386.56	330.54	56.02	961.13	398.25	342.23	1.45
6	228	398.25	340.54	57.71	959.34	400.04	342.33	1.50
7	220	400.04	342.07	57.97	973.75	385.63	327.66	1.49
8	223	385.63	329.74	55.89	972.16	387.22	331.33	1.48
9								
10								
PROMEDIO DE LOS ULTIMOS TRES CICLOS						386.43		1.49

ALIMENTACION

Malla		Peso gr	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
6	3350	0.00	0.00	0.00	100.00	2612
8	2362	399.58	26.79	26.79	73.21	0
10	1700	305.64	20.49	47.28	52.72	0
12	1400	120.00	8.04	55.32	44.68	0
14	1180	67.98	4.56	59.88	40.12	0
20	850	121.72	8.16	68.04	31.96	0
24	710	52.18	3.50	71.54	28.46	0
28	589	41.11	2.76	74.29	25.71	0
35	425	64.25	4.31	78.60	21.40	0
48	300	60.08	4.03	82.63	17.37	0
65	212	42.94	2.88	85.51	14.49	0
100	150	32.93	2.21	87.72	12.28	0
160	106	27.39	1.84	89.55	10.45	0
200	75	25.80	1.73	91.28	8.72	0
270	53	21.98	1.47	92.76	7.24	0
400	38	14.08	0.94	93.70	6.30	0
-400	-38	93.99	6.30	100.00	0.00	0
TOTAL		1491.65				2612

PRODUCTO

Malla		Peso gr	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
65	212	0.00	0.00	0.00	100.00	0
100	150	136.62	17.68	17.68	82.32	143
160	106	107.61	13.92	31.60	68.40	0
200	75	93.06	12.04	43.64	56.36	0
270	53	83.03	10.74	54.39	45.61	0
325	45	42.46	5.49	59.88	40.12	0
-400	-38	310.07	40.12	100.00	0.00	0
TOTAL		772.85				143

RHI METODO BRUCE & BERRY

MUESTRA : COMPOSITO F

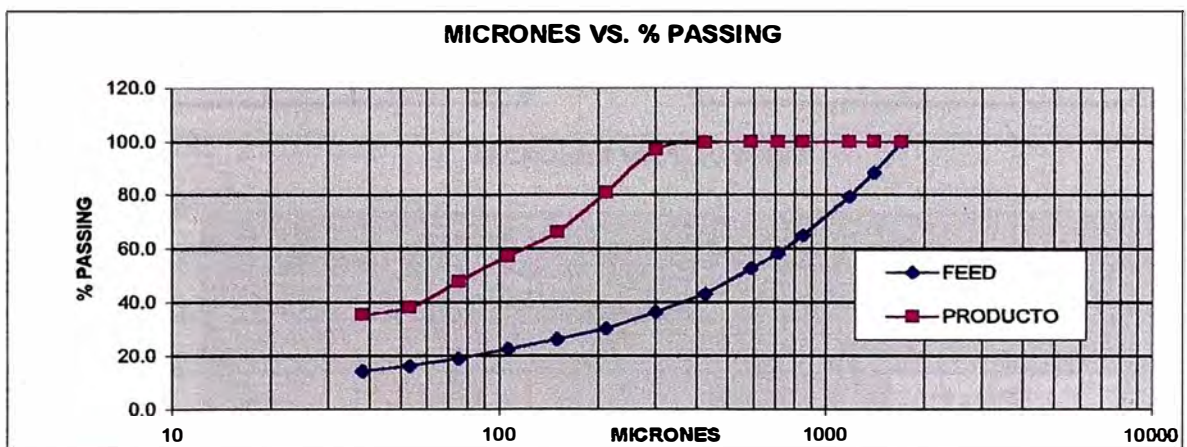
Wi: 12.57

PRUEBA N° : 8

MALLA	ALIMENTACION						Malla 80%	MALLA	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.						Malla 80%
	Mk	Peso	%			Mik			Peso	%			Mik		
			Ind	Abum	Pass					Ind	Abum	Pass			
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0		
12	1400	171.49	11.4	11.4	88.6	1188	12	1400	0.14	0.0	0.0	100.0	0		
14	1180	133.10	8.9	20.3	79.7	0	14	1180	0.57	0.0	0.0	100.0	0		
20	850	220.44	14.7	35.0	65.0	0	20	850	0.25	0.0	0.1	99.9	0		
24	710	101.35	6.8	41.8	58.2	0	25	707	0.32	0.0	0.1	99.9	0		
28	589	84.53	5.6	47.4	52.6	0	28	600	0.17	0.0	0.1	99.9	0		
35	425	143.02	9.5	56.9	43.1	0	35	425	1.34	0.1	0.2	99.8	0		
48	300	99.53	6.6	63.6	36.4	0	48	297	38.99	2.6	2.8	97.2	0		
65	212	92.75	6.2	69.7	30.3	0	65	210	242.51	16.2	19.0	81.0	206		
100	150	61.54	4.1	73.9	26.2	0	100	149	219.87	14.7	33.6	68.4	0		
150	106	52.41	3.5	77.3	22.7	0	150	106	135.75	9.1	42.7	57.34	0		
200	75	54.48	3.6	81.0	19.0	0	200	75	144.02	9.6	52.3	47.7	0		
270	53	40.63	2.7	83.7	16.3	0	270	53	145.38	9.7	62.0	38.0	0		
400	38	30.27	2.0	85.7	14.3	0	400	37	38.95	2.6	64.6	35.4	0		
-400		214.46	14.3	100.0	0.0	0	-400		531.74	35.4	100.0	0.0	0		
Mall total		1285.54					Mall total		968.26						
		1500.0				1188			1500.0				206		

RESULTADOS			
TEST		ESTANDAR	
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.	
F80 =	1188	F80 =	1188
P80 =	206	P80 =	206
Wi =	12.57	Wi =	12.5
		k =	5.12

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
% Vc	64		



RHI
METODO BRUCE & BERRY

MUESTRA : COMPOSITO F1

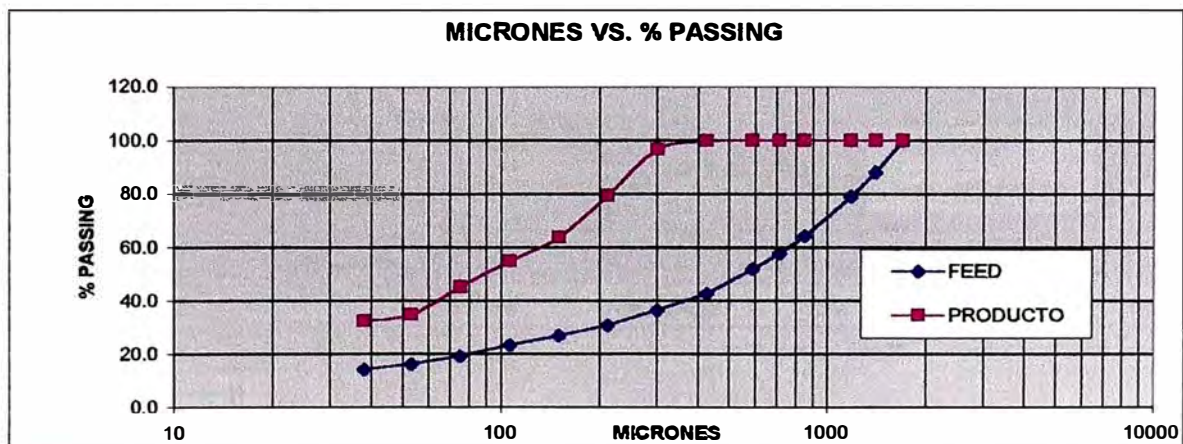
WI: 12.89

PRUEBA N° : 9

MALLA	ALIMENTACION							MALLA	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.						
	Mic	Peso	%			Mier. 80% Pass	Mic		Peso	%			Mier. 80% Pass		
			Ind	Ag. in	Pass					Ind	Ag. in	Pass			
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0		
12	1400	179.52	12.0	12.0	88.0	1202	12	1400	0.08	0.0	0.0	100.0	0		
14	1180	133.78	8.9	20.9	79.1	0	14	1180	0.23	0.0	0.0	100.0	0		
20	850	222.20	14.8	35.7	64.3	0	20	850	0.14	0.0	0.0	100.0	0		
24	710	100.48	6.7	42.4	57.6	0	25	707	0.11	0.0	0.0	100.0	0		
28	589	84.30	5.6	48.0	52.0	0	28	600	0.07	0.0	0.0	100.0	0		
35	425	138.42	9.2	57.2	42.8	0	35	425	2.06	0.1	0.2	99.8	0		
48	300	94.33	6.3	63.5	36.5	0	48	297	50.35	3.4	3.5	96.5	213		
65	212	83.38	5.6	69.1	30.9	0	65	210	255.14	17.0	20.5	79.5	0		
100	150	58.04	3.9	73.0	27.0	0	100	149	235.82	15.7	36.3	63.7	0		
150	106	52.89	3.5	76.5	23.5	0	150	106	132.77	8.9	45.1	54.88	0		
200	75	63.05	4.2	80.7	19.3	0	200	75	144.60	9.6	54.8	45.2	0		
270	53	46.28	3.1	83.8	16.2	0	270	53	155.34	10.4	65.1	34.9	0		
400	38	26.75	1.8	85.6	14.4	0	400	37	34.66	2.3	67.4	32.6	0		
-400		216.58	14.4	100.0	0.0	0	-400		488.63	32.6	100.0	0.0	0		
Mall		1283.42					Mall		1011.37						
total		1500.0				1202	total		1500.0				213		

RESULTADOS			
TEST		ESTANDAR	
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.	
F80 =	1202	F80 =	1188
P80 =	213	P80 =	206
WI =	12.89	Wi =	12.5
		k =	5.12

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
% Vc	64		



**RHI
METODO BRUCE & BERRY**

MUESTRA : COMPOSITO F1

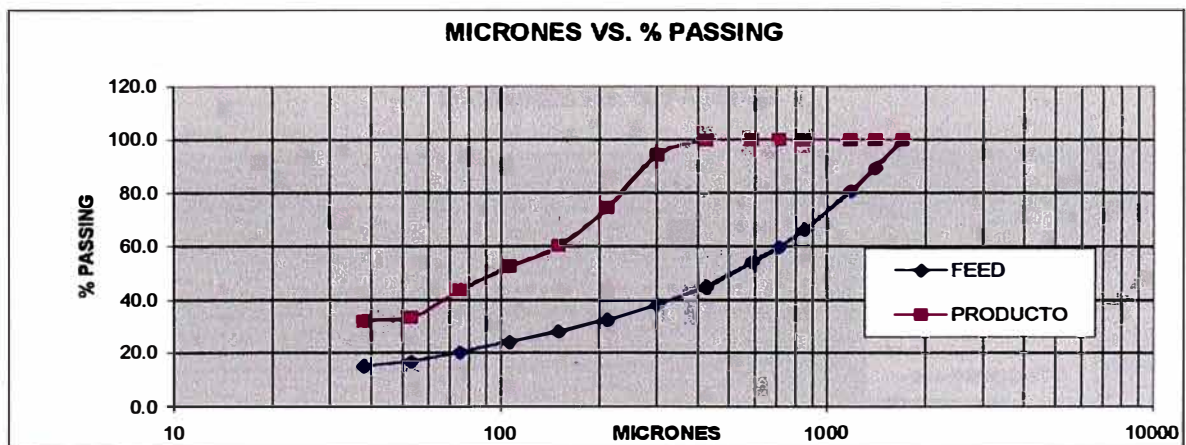
Wi: 14.20

PRUEBA N° : 10

MALLA	ALIMENTACION						Malla	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.					
	Mic	Peso	%			Mic 80% Pass		Mic	Peso	%			Mic 80% Pass
			Ind	Acum	Pass					Ind	Acum	Pass	
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0
12	1400	159.57	10.6	10.6	89.4	0	12	1400	0.12	0.0	0.0	100.0	0
14	1180	128.41	8.6	19.2	80.8	1162	14	1180	0.07	0.0	0.0	100.0	0
20	850	217.61	14.5	33.7	66.3	0	20	850	0.16	0.0	0.0	100.0	0
24	710	97.28	6.5	40.2	59.8	0	25	707	0.06	0.0	0.0	100.0	0
28	589	83.57	5.6	45.8	54.2	0	28	600	0.12	0.0	0.0	100.0	0
35	425	140.45	9.4	55.1	44.9	0	35	425	4.19	0.3	0.3	99.7	0
48	300	98.29	6.6	61.7	38.3	0	48	297	81.15	5.4	5.7	94.3	234
65	212	87.70	5.8	67.5	32.5	0	65	210	295.23	19.7	25.4	74.6	0
100	150	66.34	4.4	71.9	28.1	0	100	149	214.48	14.3	39.7	60.3	0
150	106	53.37	3.6	75.5	24.5	0	150	106	114.35	7.6	47.3	52.67	0
200	75	64.50	4.3	79.8	20.2	0	200	75	136.67	9.1	56.4	43.6	0
270	53	50.43	3.4	83.2	16.8	0	270	53	151.94	10.1	66.6	33.4	0
400	38	23.68	1.6	84.7	15.3	0	400	37	22.67	1.5	68.1	31.9	0
-400		228.80	15.3	100.0	0.0	0	-400		478.79	31.9	100.0	0.0	0
Mall total		1271.20					Mall total		1021.21				
		1500.0				1162			1500.0				234

RESULTADOS		
TEST		ESTANDAR
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.
F80 = 1162		F80 = 1188
P80 = 234		P80 = 206
Wi = 14.20		Wi = 12.5
		k = 5.12

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
% Vc	64		



RHI
METODO BRUCE & BERRY

MUESTRA : MUESTRA T

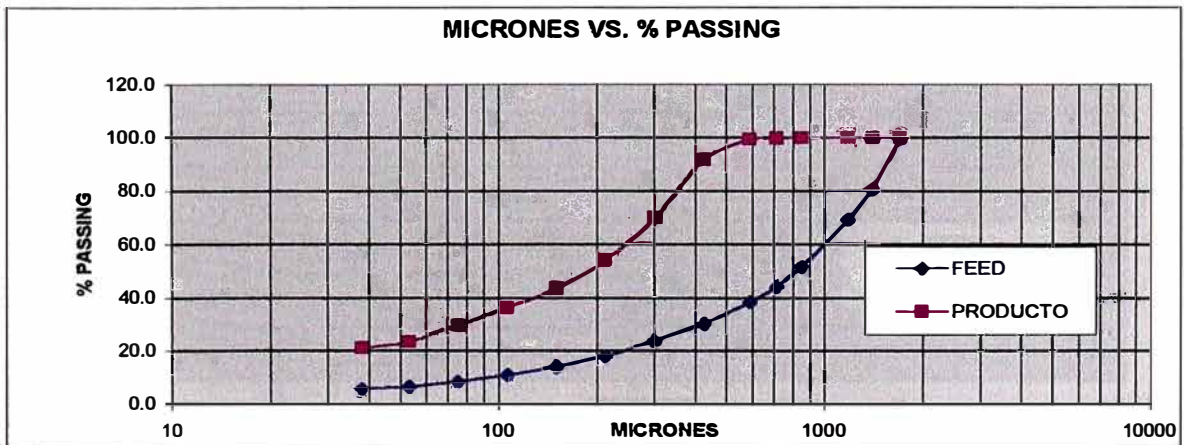
WI: 15.70

PRUEBA N° : 11

MUELA	ALIMENTACION						MUELA	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.					
	Mic	Peso	%			Mic 80%		Mjc	Peso	%			Mic 80%
			Ind	Acum	Pasa					Ind	Acum	Pasa	
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0
12	1400	290.95	19.4	19.4	80.6	1388	12	1400	0.18	0.0	0.0	100.0	0
14	1180	168.58	11.2	30.6	69.4	0	14	1180	0.22	0.0	0.0	100.0	0
20	850	271.66	18.1	48.7	51.3	0	20	850	0.37	0.0	0.1	99.9	0
24	710	108.90	7.3	56.0	44.0	0	25	707	2.15	0.1	0.2	99.8	0
28	589	83.16	5.5	61.6	38.5	0	28	600	8.44	0.6	0.8	99.2	0
35	425	122.24	8.1	69.7	30.3	0	35	425	113.20	7.5	8.3	91.7	357
48	300	103.13	6.9	76.6	23.4	0	48	297	330.69	22.0	30.4	69.7	0
65	212	82.75	5.5	82.1	17.9	0	65	210	235.17	15.7	46.0	54.0	0
100	150	59.26	4.0	86.0	14.0	0	100	149	158.04	10.5	56.6	43.4	0
150	106	45.24	3.0	89.1	10.9	0	150	106	110.87	7.4	64.0	36.04	0
200	75	38.34	2.6	91.6	8.4	0	200	75	101.14	6.7	70.7	29.3	0
270	53	27.16	1.8	93.4	6.6	0	270	53	86.75	5.8	76.5	23.5	0
400	38	11.52	0.8	94.2	5.8	0	400	37	36.96	2.5	78.9	21.1	0
-400		87.11	5.8	100.0	0.0	0	-400		315.82	21.1	100.0	0.0	0
Mall		1412.89					Mall		1184.18				
total		1500.0				1388	total		1500.0				357

RESULTADOS		
TEST		ESTANDAR
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.
F80 = 1388		F80 = 1388
P80 = 357		P80 = 357
WI = 15.70		WI = 15.7
		k = 4.09

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
% Vc	64		



RHI METODO BRUCE & BERRY

MUESTRA : MUESTRA T2

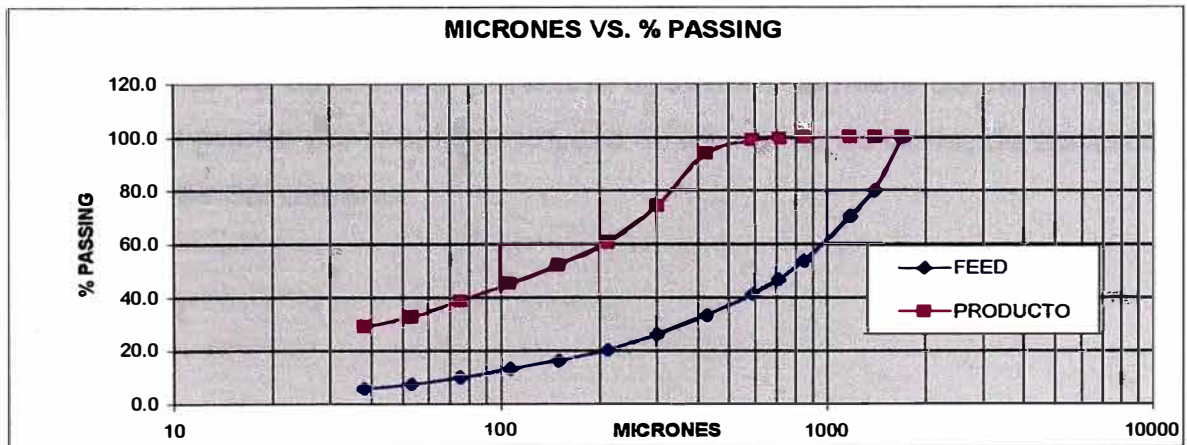
WI: 14.63

PRUEBA N° : 12

MALLA	ALIMENTACION						Mg. 80%	MALLA	MOLIENDA A 4 min. 7 seg.						Mg. 80%
	Mic	Peso	%			Pass.			Mic	Peso	%			Pass.	
			Ind	Acum	Pass.						Ind	Acum	Pass.		
10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0	10	1700	0.00	0.0	0.0	100.0	0		
12	1400	297.66	19.8	19.8	80.2	1397	12	1400	0.07	0.0	0.0	100.0	0		
14	1180	147.76	9.9	29.7	70.3	0	14	1180	0.14	0.0	0.0	100.0	0		
20	850	249.13	16.6	46.3	53.7	0	20	850	0.91	0.1	0.1	99.9	0		
24	710	103.79	6.9	53.2	46.8	0	25	707	5.72	0.4	0.5	99.5	0		
28	589	82.40	5.5	58.7	41.3	0	28	600	11.19	0.7	1.2	98.8	0		
35	425	122.24	8.1	66.9	33.1	0	35	425	70.78	4.7	5.9	94.1	334		
48	300	106.71	7.1	74.0	26.0	0	48	297	295.82	19.7	25.6	74.4	0		
65	212	85.56	5.7	79.7	20.3	0	65	210	204.35	13.6	39.3	60.7	0		
100	150	60.95	4.1	83.7	16.3	0	100	149	130.98	8.7	48.0	52.0	0		
150	106	48.84	3.3	87.0	13.0	0	150	106	100.94	6.7	54.7	45.27	0		
200	75	45.78	3.1	90.1	9.9	0	200	75	98.21	6.5	61.3	38.7	0		
270	53	37.62	2.5	92.6	7.4	0	270	53	92.09	6.1	67.4	32.6	0		
400	38	24.90	1.7	94.2	5.8	0	400	37	55.79	3.7	71.1	28.9	0		
-400		86.66	5.8	100.0	0.0	0	-400		433.01	28.9	100.0	0.0	0		
Mall total		1413.34					Mall total		1066.99				334		
total		1500.0				1397	total		1500.0				334		

RESULTADOS			
TEST		ESTANDAR	
4 min. 7 seg.		4 min. 7 seg.	
F80 = 1397		F80 = 1388	
P80 = 334		P80 = 357	
WI = 14.63		Wi = 15.7	
		k = 4.09	

CONDICIONES		BARRAS	
MOLINO	6" X 12"	1"	4
RPM	70	3/4"	18
%S	64		
PESO MUESTRA	750 gr		
%Vc	64		



2.1.3 Método de Anaconda Simplificado

Resumen

Este método requiere un molino ordinario de laboratorio y no requiere una muestra de referencia para comparar, cada vez que se realiza las pruebas de Work Index. Es necesario que el molino de laboratorio sea calibrado, usando muestras con Work Index de Bond conocido.

La base para este método es el cálculo del Work Index de operación a nivel de laboratorio, el cual se asume que debe ser una relación directa con el Work Index determinado por el procedimiento estándar de Bond. De las relaciones obtenidas se determina una constante de calibración para el molino de laboratorio específico, el cual es utilizado para determinar el Work Index de otras muestras.

Metodología Experimental

El método de Anaconda consiste en pruebas batch de laboratorio manteniendo constantes las variables de operación y usando una constante de calibración para una determinada malla de corte. Este método puede ser recalibrado para otras mallas de corte, de acuerdo al interés del usuario.

Equipo

El molino de laboratorio para las pruebas de Anaconda es un molino ordinario de laboratorio cuyas dimensiones son de 6" diám x 12" largo. El molino es cargado con una carga estándar de bolas, cuyas

dimensiones varían de 1.50" a 0.75". La distribución de bolas se muestra en la siguiente tabla.

La velocidad del molino es de 70 RPM, el cual representa 64% de su velocidad crítica.

CARGA DE BOLAS

TABLA N° 7

DIÁMETRO BOLAS		CANTIDAD	PESO
cm	pulg	N°	gr
3.81	1.50	11	2927.70
3.18	1.25	17	2384.80
2.54	1.00	23	1708.80
2.24	0.88	7	381.30
1.91	0.75	30	738.30
TOTAL		88	8140.9

Muestra

El material alimentado para esta prueba es preparado por etapas de chancado hasta obtener 100% menos 10 mallas. Luego es necesario remover la fracción fina de menos 65 mallas, mediante un tamizado en seco.

Es importante que la fracción de finos –65 mallas de la muestra de alimentación, sea lo menor posible.

Procedimiento

Para estas pruebas es necesario contar con 1 Kg de muestra, el cual es molido a 50% de sólidos (1 lt de agua) por un período de 10 minutos.

Se requieren los análisis granulométricos del alimento y producto de molienda para determinar sus respectivas F_{80} y P_{80} .

Ecuación

Si consideramos que el Work Index de Bond es directamente proporcional al Work Index de operación del molino batch, entonces es válida la siguiente formulación:

$$W_i = \alpha W_{iop} = \frac{\alpha \bar{E}}{10} \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)^{-1}$$

Donde α = Constante de proporcionalidad
 E = Energía específica neta suministrada durante la prueba Batch, (Kwh/t).

Si $A = \frac{\alpha \bar{E}}{10}$ entonces el Work Index puede ser determinado

Directamente con la siguiente ecuación:

$$W_i = A \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right]^{-1}$$

Entonces la ecuación final utilizada es:

$$Wi = 0.2804 \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right]^{-1}$$

A : constante de calibración, 0.2804 Kwh/tc

P₈₀ : 80% Passing del producto

F₈₀ : 80% Passing del alimento

Wi : Work Index

Esta ecuación es utilizada para la determinación de Work Index en forma fácil, rápida y válida sólo para la malla 65 como la malla de molienda. Es aplicable a muestras cuya granulometría de alimentación difiere del estándar de Bond.

Resultados

TABLA N° 8

N° Prueba	MUESTRA	F80 μ	P80 μ	Constante de Calibración Kwh/tc	WORK INDEX DE BOND Kwh/tc
13	Relave de flotación Rougher	465	259	0.2804	17.79

ENSAYO DE WORK INDEX POR EL METODO DE ANACONDA PRUEBA N° 13

MUESTRA : RELAVE DE FLOTACIÓN ROUGHER

CONDICIONES:

Alimentación 100%	: -10M / +65M
Malla de Corte (-65M).	: 11.14 %
Peso de la Muestra	: 1000 gr.

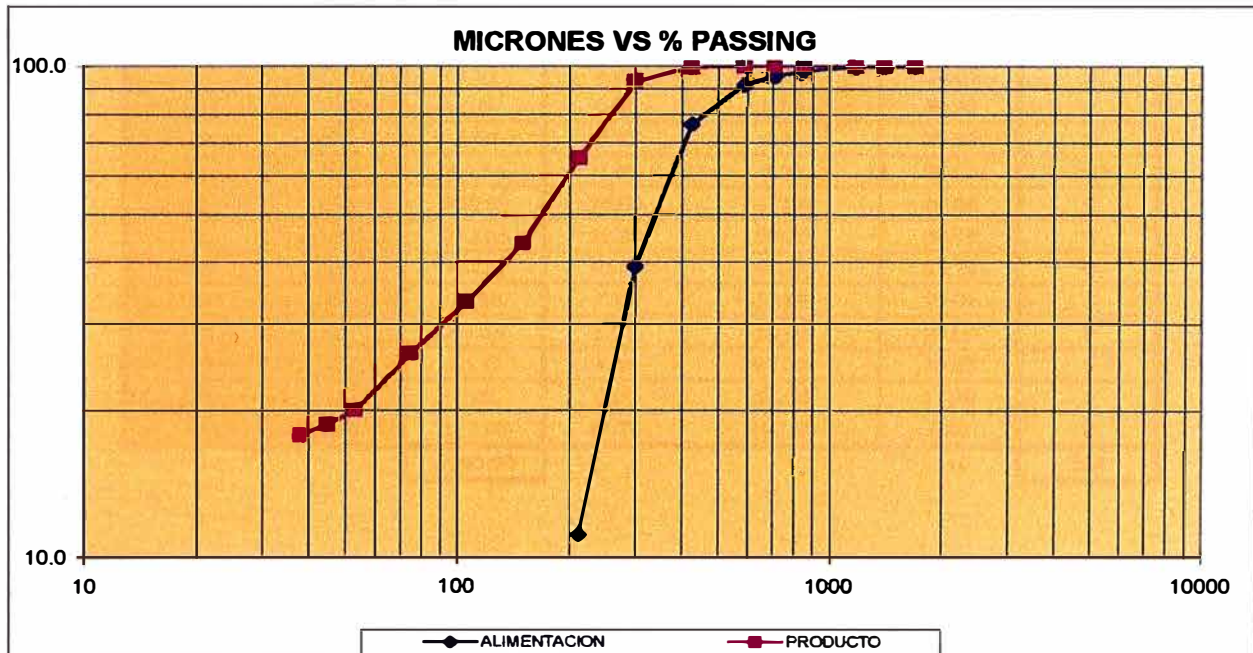
RESULTADOS:

Promedio de **dos** pruebas:

$$Wi : K \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right]^{-1}$$

K	: Constante de calibración	: 0.2804152 Kwh/Tc
P₈₀	: 80% Passing del producto	: 259 micrones
F₈₀	: 80% Passing del alimento	: 465 micrones

WORK INDEX : **17.79** Kwh/Tc



MUESTRA : RELAVE DE FLOTACIÓN ROUGHER

ALIMENTACION

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
10	1700	0.00	0.00	0.00	100.00	0
12	1400	1.75	0.18	0.18	99.83	0
14	1180	1.98	0.20	0.37	99.63	0
20	850	16.77	1.68	2.05	97.95	0
24	710	24.60	2.46	4.51	95.49	0
28	589	39.72	3.97	8.48	91.52	465
35	425	152.66	15.27	23.75	76.25	0
48	300	370.81	37.08	60.83	39.17	0
65	212	280.35	28.04	88.86	11.14	0
-65	-212	111.36	11.14	100.00	0.00	0
		1000.00				465

PRODUCTO

Malla		Peso gr.	%			Micrones 80% Pass
Tyler	Micrones		Ind.	Acc	Pass	
10	1700	0.00	0.00	0.00	100.00	0
12	1400	0.29	0.03	0.03	99.97	0
14	1180	0.06	0.01	0.04	99.97	0
20	850	0.09	0.01	0.04	99.96	0
24	710	0.10	0.01	0.05	99.95	0
28	589	0.26	0.03	0.08	99.92	0
35	425	4.04	0.40	0.48	99.52	0
48	300	64.64	6.46	6.95	93.05	259
65	212	280.93	28.09	35.04	64.96	0
100	150	212.05	21.21	56.25	43.75	0
150	106	104.90	10.49	66.74	33.26	0
200	75	72.58	7.26	73.99	26.01	0
270	53	60.06	6.01	80.00	20.00	0
325	45	13.32	1.33	81.33	18.67	0
400	38	9.05	0.91	82.24	17.76	0
-400	-38	177.63	17.76	100.00	0.00	0
		1000.00				259

Método de Calibración

El procedimiento de calibración tiene como objetivo la determinación de la constante A utilizada para la determinación del Work Index por el método simplificado de Anaconda. En la Tabla siguiente se muestra los datos para 7 muestras de diferentes durezas, las cuales fueron ensayadas por el procedimiento de Anaconda y paralelamente se realizaron las pruebas estándar de Bond.

La constante A puede ser determinada por métodos de regresión lineal u otros métodos alternativos. Para este caso se utilizó la hoja de cálculo Excel.

TABLA N° 9

Datos de Calibración para el Método Simplificado de Anaconda

MUESTRA	Wi BOND	F80	P80	M	Wi Anaconda	DIF.
	Kwh/tc	micras	micras		Kwh/tc	Kwh/tc
1	13.12	1351	427	47.2	13.24	-0.12
2	12.35	1331	403	44.6	12.52	-0.17
3	11.37	1300	383	42.8	12.00	-0.63
4	14.01	1337	460	51.9	14.55	-0.54
5	12.29	1371	374	40.5	11.35	0.94
6	16.37	1380	499	56.0	15.71	0.66
7	11.89	1236	374	43.0	12.05	-0.16

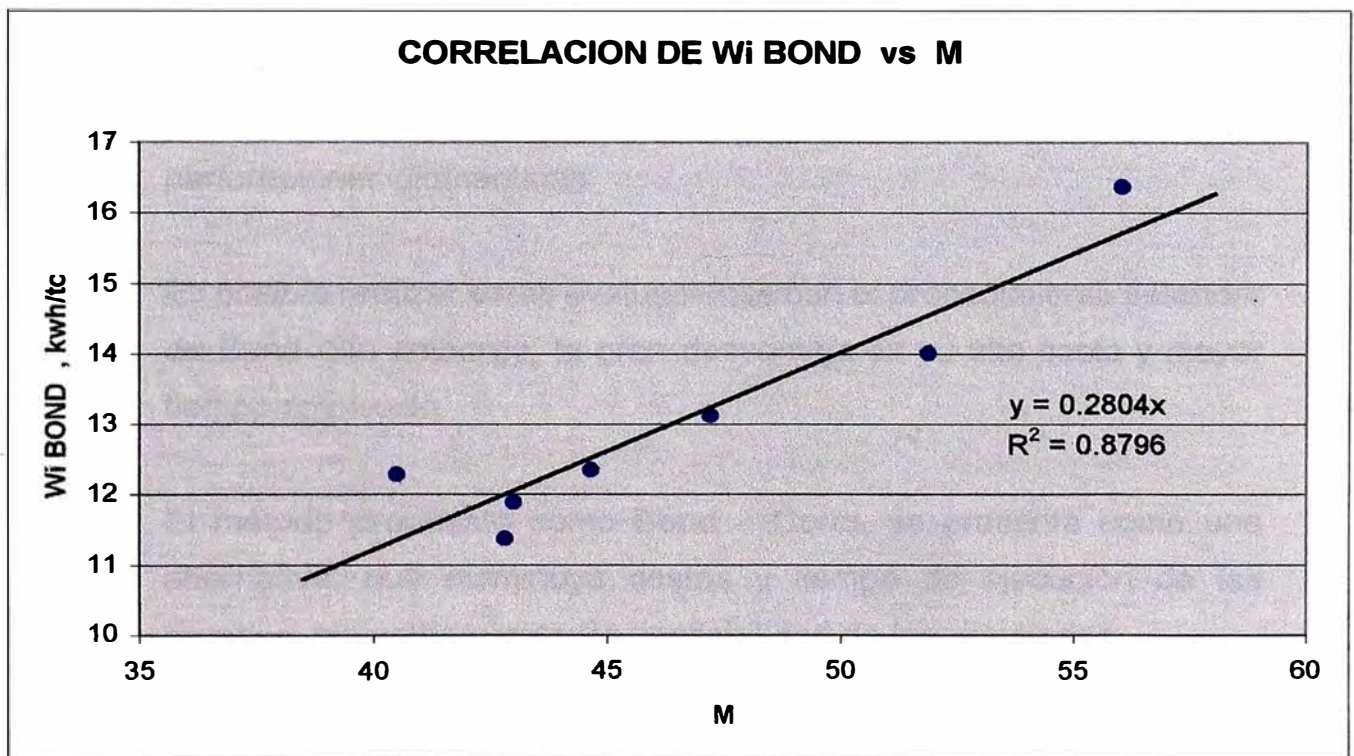
$$M = \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} \quad - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right]^{-1}$$

$$Wi = A \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} \quad - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right]^{-1}$$

La constante encontrada corresponde a la correlación de 7 muestras

K	:	Constante de calibración	0.2804
		R Square	0.88
		Estándar Error	0.59

GRAFICO N° 1



2.1.4 Método Modificado de Bond - Corto

Resumen

El Work Index de Bond es ampliamente aceptado como procedimiento para determinar la energía requerida en un circuito de molienda. Actualmente, la industria requiere el uso de este parámetro para la evaluación y planeamiento de su producción a largo plazo. Esto significa desarrollar un gran número de pruebas y contar con suficiente material, requerido de acuerdo al procedimiento de Bond. El origen de las muestras son los cores de las perforaciones diamantinas.

Es posible realizar estas evaluaciones con el procedimiento estándar de Bond. Sin embargo, la gran desventaja es su alto costo y mayor tiempo empleado.

El método propuesto como Bond – Corto, se presenta como una alternativa, que disminuye costos y tiempo de ejecución de las pruebas, sin comprometer la confiabilidad de los resultados.

Metodología Experimental

Este método utiliza el molino de Bond con las características estándar previamente descritas en la sección 2.1.1. La modificación consiste en acelerar el procedimiento, con la correlación de la moliendabilidad obtenida en el primer ciclo de molienda, con su respectivo Work Index.

Equipo

Molino de Bond

Muestra

La granulometría de la muestra de alimentación es 100% menos 6 mallas.

Procedimiento

El peso de muestra requerido es de 1200 gr., el cual es molido en seco utilizando el molino de Bond por un período de 450 RPM.

El producto de molienda es tamizado en seco bajo la malla 65 y registrado el peso.

Previamente la muestra de alimentación fue tamizada en malla 65, con el objeto de determinar el peso de finos (menos 65 mallas).

El peso de finos neto generado, es dividido entre las 450 revoluciones. Este resultado se denomina moliendabilidad y es expresada en gr/rev.

Ecuación

$$\text{Work Index} = 15,9064 \times \text{Moliendabilidad}^{-0,895389}$$

$$\text{R square} = 0,94$$

$$\text{Standar Error} = 0,036$$

Moliendabilidad : gr netos de finos (menos 65 mallas) por revolución

Resultados

TABLA N° 10

N° Prueba	PESO DE MUESTRA gr	N° Revoluciones	Moliendabilidad	Work Index Bond Kwh/tc	Work index Bond Corto Kwh/tc
14	1200	450	1.87	13.64	13.65

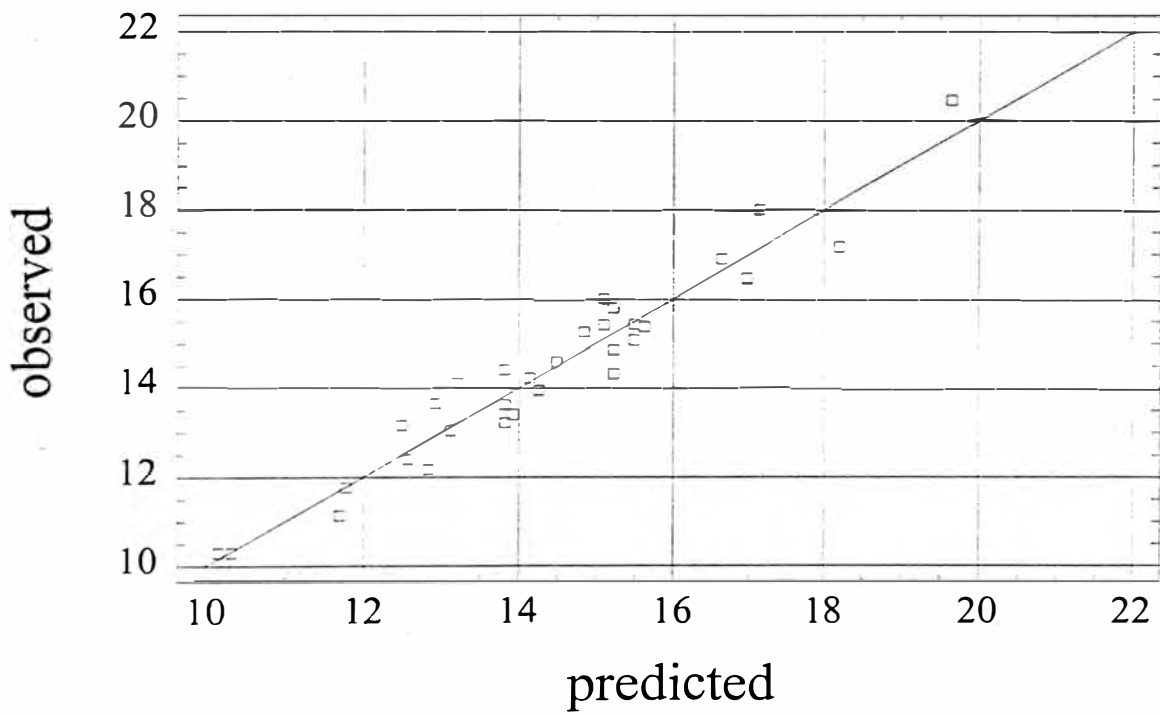
Método de Calibración

Para la calibración de este método se utilizó 33 muestras con Work Index conocido.

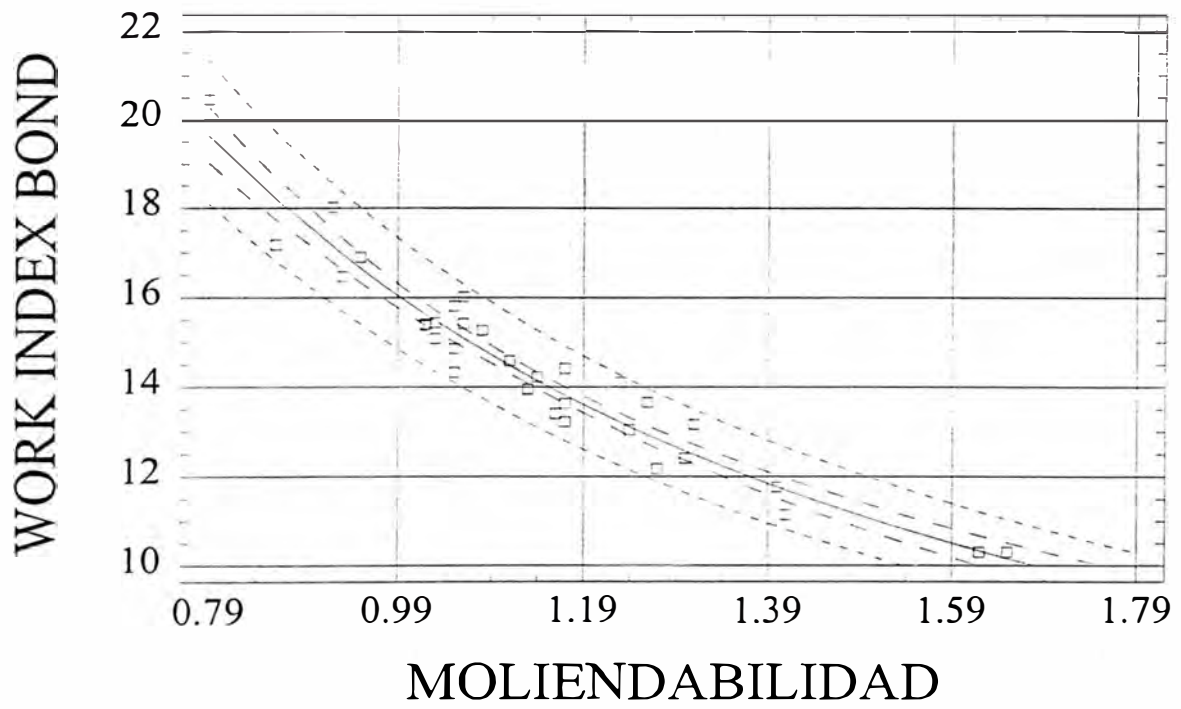
TABLA N° 11

N° Muestra	Moliendabilidad a 450 RPM	Work Index de Bond
1	1.14	14.23
2	1.4	11.77
3	1.03	15.44
4	1.11	14.59
5	1.62	10.3
6	1.24	13.05
7	1.65	10.3
8	0.95	16.9
9	1.02	15.41
10	1.3	12.41
11	1.17	13.64
12	1.02	15.38
13	1.06	15.42
14	1.13	13.95
15	1.13	13.96
16	1.08	15.27
17	1.05	14.86
18	0.93	16.47
19	1.03	15.09
20	1.16	13.41
21	1.17	13.23
22	1.41	11.14
23	1.05	15.81
24	1.17	14.42
25	1.31	13.17
26	1.27	12.17
27	1.26	13.66
28	0.79	20.46
29	0.92	18.01
30	1.23	14.11
31	1.06	16.02
32	1.05	14.33
33	0.86	17.18

Plot of WORK INDEX BOND



Plot of Fitted Model



2.1.5 Método Industrial

El Work Index operacional fue introducido por Rowland, W_{iop} el cual se define como el índice de trabajo que resultaría al aplicar la ecuación de energía de Bond a los datos de planta.

$$E_{op} = W_{iop} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

Donde

E_{op} : Energía específica real consumida en la planta, Kwh/tc

F y P : Son los valores del 80% de alimentación y producto del circuito.

E : La energía pronosticada por la ecuación de Bond en base al Work Index (W_i) determinado en el laboratorio.

Entonces la ecuación anterior también puede ser expresada como:

$$W_{iop} = W_i \frac{E_{op}}{E}$$

Una relación directa entre el Work Index Operacional y el Work Index de laboratorio.

Procedimiento

Para la determinación del Work Index Operacional es necesario realizar un balance de masa del circuito de molienda y clasificación en operación, recolectando datos de energía y parámetros de

operación, con los cuales es posible calcular el Work Index Operacional. En la tabla adjunta se detalla un ejemplo práctico.

Resultados

TABLA N° 12

N° Prueba	Ton/h	Potencia Kw	F80 μ	P80 μ	Energía Específica Operacional	Work Index Operacional
15	357	2564	10434	255	7.18	13.6

Work Index Operacional	Energía Específica Operacional	Factor General de Corrección	Work Index Bond	Energía Específica Bond
13.6	7.18	1.1	11.96	6.8

DETERMINACION DEL WORK INDEX OPERACIONAL - MOLINO PRIMARIO 2
PRUEBA N° 15

Tons/Hr:	357	F(80)	10434
KW :	2564	P(80)	255
Amps :	235	Moliend	7.18
Volts :	7000	WI oper	13.6
P.Fact:	0.9	Presión, psi	4.0
Mw	2.6	N° Ciclones	4

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

Malla	% PESO				% ACUMULADO			
	Descarga	Overflow	Underflow	A Fresca	A Fresca	Descarga	Overflow	Underflow
+1/2	3.0		3.4	9.8	9.8	3.0	0.0	3.4
+3/8	4.5		3.9	14.4	24.2	7.5	0.0	7.3
+ 3	3.7		3.5	11.8	36.0	11.1	0.0	10.8
+ 6	5.0		6.8	15.0	51.0	16.2	0.0	17.6
+ 10	5.3		8.3	11.0	62.0	21.5	0.0	25.9
+ 20	9.3	0.0	14.7	7.9	69.9	30.8	0.0	40.6
+ 35	18.1	5.1	26.1	6.1	75.9	48.8	5.1	66.7
+ 48	11.0	8.1	11.5	2.2	78.1	59.8	13.1	78.2
+ 65	8.3	13.5	7.1	2.3	80.4	68.1	26.6	85.3
+100	5.2	9.2	3.7	1.7	82.2	73.3	35.8	89.0
+150	4.4	8.7	2.6	1.9	84.0	77.8	44.5	91.6
+200	3.2	7.0	1.5	1.7	85.7	81.0	51.6	93.1
+270	2.2	4.8	0.9	1.3	87.0	83.2	56.4	94.0
+325	1.1	1.7	0.4	0.6	87.6	84.3	58.1	94.4
-325	15.7	41.9	5.6	12.4	100.0	100.0	100.0	100.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0				

Malla	Carga Circulante
+ 35	2.45
+ 48	2.54
+ 65	2.42
+100	2.40
+150	2.40
+200	2.43
+270	2.47
+325	2.58
-325	
Promedio	2.46

DETERMINACION DEL BY PASS

Flujo	Descarga	Overflow	Underflow	FEED
% Sólidos	74.5	37.5	78.3	97.7
Distrb carga (%)	100.0	28.9	71.1	
By PASS al underflow	29.0			

TABLA N° 13

CORRECCIÓN DEL WORK INDEX OPERACIONAL

DATOS DE ENTRADA-CIRCUITO DE MOLIENDA	
Alim F_{80} = Tamaño de 80% pasante, micrones	10434
Prod P_{80} = Tamaño de 80% pasante, micrones	255
Configuración del Circuito	Cerrado
Tipo de Molienda	Húmeda
Tipo de Descarga	Overflow
CALCULO DE LA ENERGÍA Y FACTORES DE CORRECCION	
F_1 : Molienda Seca	1
F_2 : Circuito Cerrado	1
F_3 : Diámetro del Molino	0.9
F_4 : Alimentación Gruesa	1.2
F_5 : Producto Fino	1
F_6 : Razón de Reducción Baja	1
$F_{tot} = F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times F_6$	1.1
Wi. operacional	13.60
Work Index $Bond_{base}$ Kwh/tc	12.36
Energía Operacional Kwh/tc	7.18
Energía estándar, Kwh/tc	6.52

CAPITULO III

APLICACIONES DE WORK INDEX

El Work Index puede ser utilizado industrialmente como control de la eficiencia energética del circuito de molienda, mediante un balance de masa de un circuito en operación. Otra aplicación está referida al área de proyectos para el dimensionamiento de molinos.

3.1 Utilización en Procesos Industriales

Los índices de referencia son:

a) Consumo específico de energía = $\frac{E}{M}$ (Kwh/tc)

b) Factor de Eficiencia = $\frac{W_{ioc}}{W_i}$

c) Eficiencia de Molienda = $\frac{W_i}{W_{ioc}} \times 100\%$

Estos tres índices son de gran utilidad para evaluar los cambios de las diferentes variables de operación de los molinos. Estos datos pueden ser obtenidos en forma instantánea y continua en los paneles de control.

TABLA N° 14

Comparación del Índice de Trabajo experimental y operacional para molinos de bolas en circuito cerrado, incluyendo molinos de barras y bolas.

Diámetro Interior del molino m	Diámetro Interior del molino pies	Tamaño en μm Produc. xll	Tamaño en μm Produc. x(i)	Índice de Trabajo Operacional Kwh/ton W_{op}	Índice de Trabajo Experimental Kwh/ton W_i	$\frac{W_{op}}{W_i}$	Número de datos
3	10	1280	165	14.50	14.61	0.99	1
3.5	11 - 1/2	1150	230	11.48	8.90	1.29	1
3.8	12 - 1/2	1330	353	10.71	11.2	0.96	1
3.8	12 - 1/2	1123	38.0	9.77	11.2	0.87	1
3.8	12 - 1/2	1226	36.6	10.24	11.2	0.91	2
3	10	1568	121	5.34	5.99	0.89	6
3	10	1321	107	5.96	6.26	0.95	6
3	10	1444	114	5.56	6.12	0.92	12
3.7	12	1264	181	11.78	13.34	0.88	4
3.7	12	1135	185	13.17	13.18	1.00	4
3.7	12	1200	183	12.45	13.26	0.90	8
						0.945	24

En el caso que las potencias calculadas y reales resulten iguales, la razón W_{op}/W_i corresponde a la razón entre la capacidad pronosticada y la real.

Para un molino operando eficientemente, variaciones en la eficiencia de clasificación, distribución de tamaño de la alimentación, distribución de tamaño de bolas, etc., pueden dar razones de W_{op}/W_i diferentes de la unidad. Rowland ha dado resultados para molinos de bolas pertenecientes a un circuito molino de barras-molino de bolas que muestran variaciones de esta razón en el rango 0.87 hasta 1.29, con un promedio de 0.945. Este rango de variación es consistente con los efectos de variación en la eficiencia de clasificación, parámetros de ruptura primaria, mezcla de bolas, etc., como se predice por simulación de un circuito completo de molienda-clasificación para una operación eficiente. Si la razón se torna muy grande, esto es, mayor a 1.3, ello es indicación de que las condiciones de molienda no son correctas y hay ineficiencias directas.

TABLA N° 15
PERFORMANCE DE UN CIRCUITO DE MOLIENDA INDUSTRIAL

	MOLINOS												Promedio
	1	2	Prom 1-2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom 3-10	General 1-10
Tonejale de Alimentación tm/h	689	690	1379	302	302	298	300	299	297	301	301	2401	3780
Potencia, Mw	6.31	6.34	12.65	2.47	2.46	2.35	2.46	2.39	2.44	2.39	2.47	19.43	32.08
Alimento, micras F(80)	9715	9773	9744	9480	9480	9480	9480	9480	9480	9480	9480	9480	9576
Producto, micras P(80)	258	256	257	259	259	259	259	259	259	259	259	259	258
Consumo Energía Específica Kwh/tm	9.2	9.2	9.2	8.2	8.2	7.9	8.2	8.0	8.2	7.9	8.2	8.1	8.5
Work Index Operacional Kwh/tm	17.57	14.57	17.56	15.75	15.73	15.20	15.80	15.40	15.86	15.30	15.80	15.61	16.32
Work Index Operacional Kwh/tc	15.94	15.91	15.93	14.28	14.27	13.78	14.33	13.97	14.38	13.87	14.33	14.16	14.80
Work Index Operacional Corregido Kwh/tc	14.49	14.46	14.48	12.98	12.97	12.53	13.03	12.70	13.07	12.61	13.03	12.87	13.45
Work Index de Bond Kwh/tc	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40
Factor de Eficiencia	1.168	1.166	1.167	1.046	1.040	1.01	1.05	1.02	1.05	1.01	1.05	1.03	1.08
Eficiencia de Molienda	85.58	85.75	85.63	95.53	95.60	98.96	95.16	97.63	94.87	98.33	95.16	96.34	92.19

3.2 Utilización en Proyectos Industriales

Para la elaboración de proyectos industriales, en la fase de estudios de prefactibilidad, la potencia requerida para moler un determinado mineral puede ser estimada a partir de la ecuación de Bond, para las condiciones preestablecidas.

Cuando las condiciones operacionales son diferentes a los preestablecidos por Bond, el consumo real de potencia, para un determinado mineral, será obtenido multiplicando el valor de la energía de Bond (E_o) por los factores de corrección de C.A. Rowland (E_{fi}) y dividiendo por E_{fo} (pérdidas en el sistema de transmisión).

$$E = 10 W_i \left\{ \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right\} \left\{ \frac{E_{fi}}{E_{fo}} \right\}$$

Una vez obtenida la potencia necesaria y teniendo las características mineralógicas, se procederá a la selección del tamaño adecuado del molino o molinos. Consideraciones económicas deberán ser tomados en cuenta para la selección final. Así mismo, es importante resaltar la necesidad de las pruebas a escala semi industrial (pilotaje), que permiten obtener parámetros más cercanos al proceso real y por consecuencia nos conducen a calcular la potencia instalada real de los molinos.

Inclusión del Work Index en el Modelo Geometalúrgico de Bloques

La capacidad de un circuito de molienda está relacionado directamente al Work Index, granulometría de la alimentación y el producto del circuito y la disponibilidad de Kw del circuito de molienda.

Si M_p es la energía del circuito de molienda (expresada en Kw) entonces la capacidad de molienda, C (tph) es expresada por la siguiente ecuación:

$$W = 10 W_i (1/\sqrt{P_{80}} - 1/\sqrt{F_{80}})$$

$$C = M_p/W = M_p/[10 W_i (1/\sqrt{P_{80}} - 1/\sqrt{F_{80}})]$$

Como ejemplo de esta aplicación se considera el siguiente caso:

La potencia disponible es de 32080 Kw, F_{80} es 9576 micrones, P_{80} 258 micrones. Con esta información se realiza un análisis de sensibilidad de la capacidad de planta en función del Work Index, que combinado con un modelo de recuperación de Cu en función de la granulometría del producto de molienda, nos permitirá predecir la producción de contenido metálico de Cu en diferentes escenarios.

Las informaciones complementarias son las correlaciones entre el P_{80} y el % + 65 mallas.

• **Relación de la malla 65 vs. P_{80}**

La correlación de la base de datos ha permitido encontrar un modelo cuadrático:

$$y = 0.1534 x^2 - 0.4212x + 170.51$$

$$R^2 = 0.9774$$

Entonces para un P_{80} de 258 micrones le corresponde aproximadamente 25,3% + 65 mallas.

- **Determinación de la Capacidad de Planta**

Para un W_i de 13.45 Kwh/tc y las condiciones preestablecidas anteriormente le corresponde un tonelaje aproximado de 87000 tm/d.

- **Relación de Recuperación de Cu vs. P_{80}**

El modelo logarítmico obtenido es

$$y = -13.426 \ln(x) + 154.83$$

Entonces para un P_{80} de 258 micrones le corresponde una recuperación aproximada de Cu de 80%.

- **Determinación de la Producción de Cu fino**

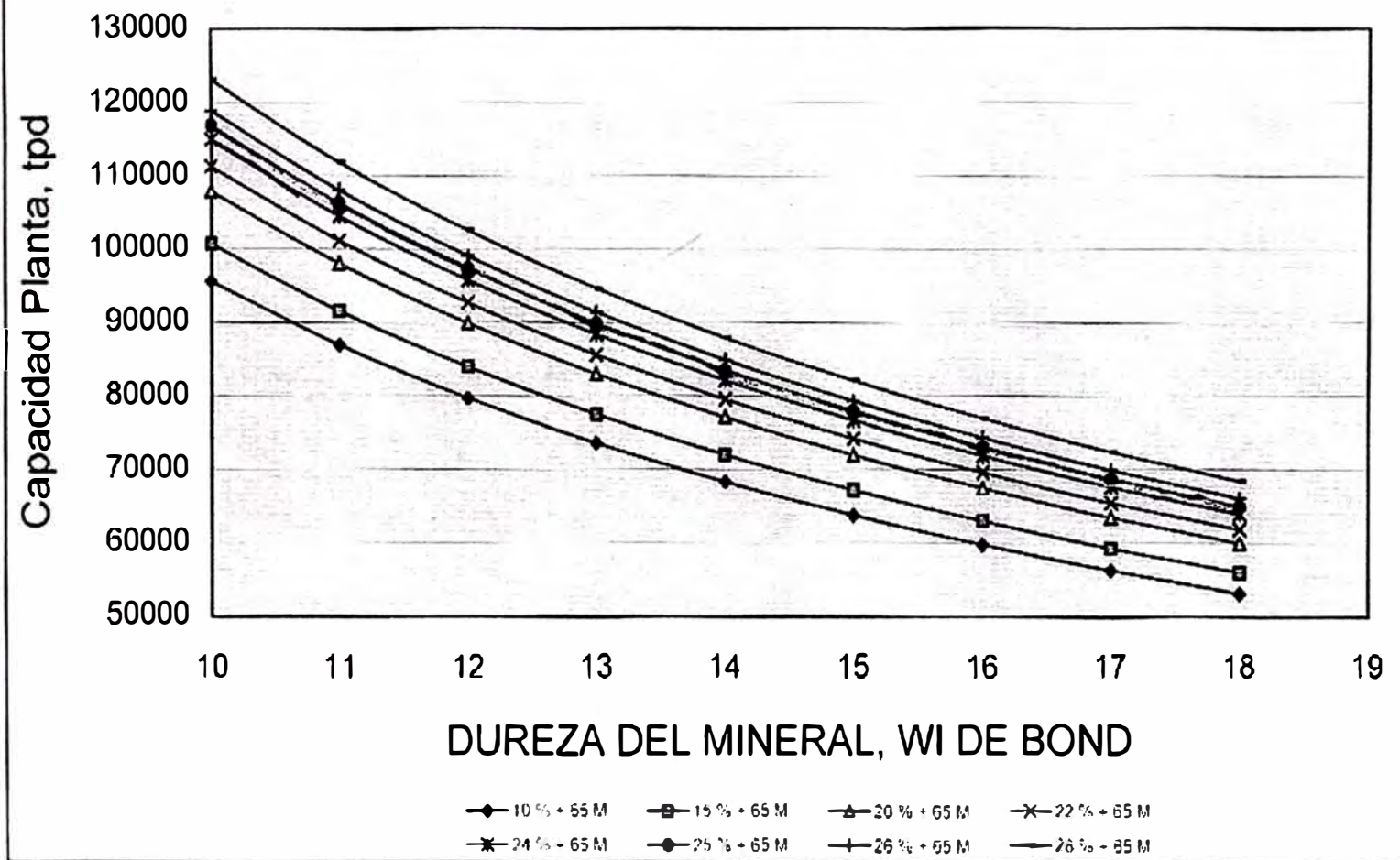
Para una ley de cabeza constante de 0.75% de Cu y W_i de 13.45 Kwh/tc la producción estimada de Cu fino es 530 tm/d.

Este ejemplo demuestra la gran utilidad del W_i para planificar y/o predecir la producción a futuro dependiendo de las características del mineral.

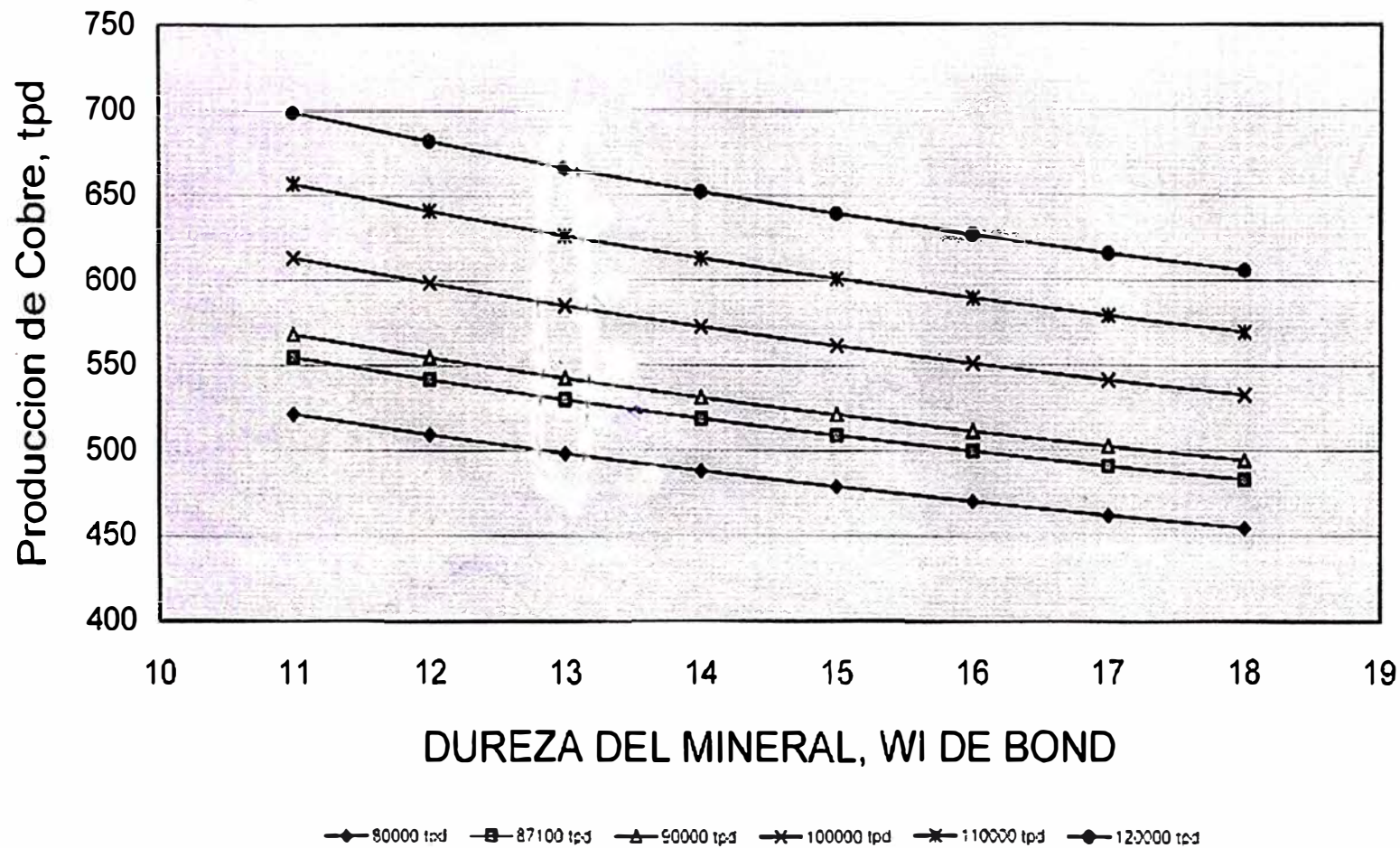
El análisis económico para la operación de una planta, está basado en la combinación de la molienda (P_{80}) y el tonelaje de planta para cada bloque de la mina. Este óptimo económico es definido por los parámetros de Work Index y cinética de flotación, por esta razón el Work Index debe ser incluido en un modelo geometalúrgico.

En los gráficos adjuntos se muestra el análisis de sensibilidad para las diferentes condiciones.

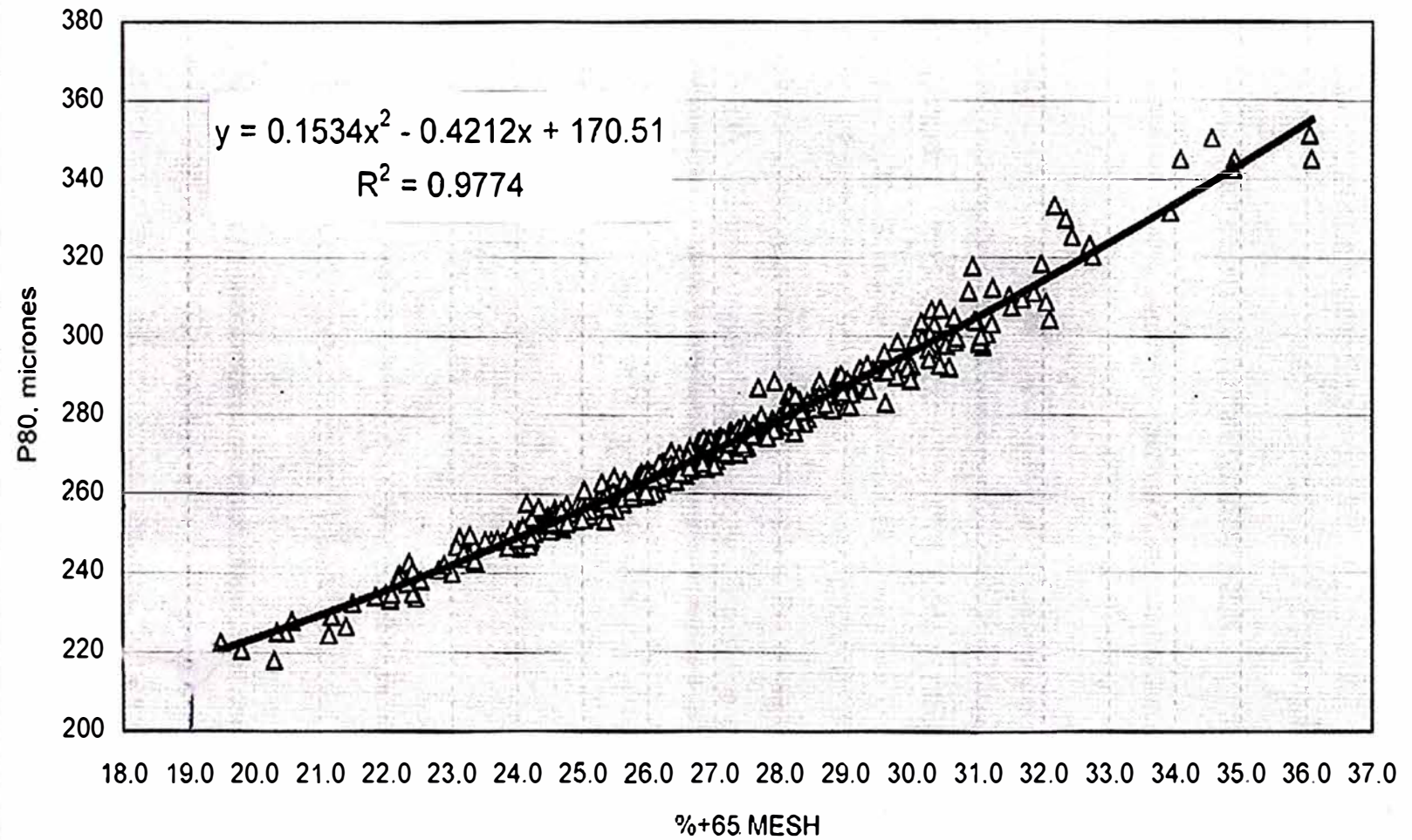
CAPACIDAD DE PLANTA COMO FUNCION DE LA DUREZA DEL MINERAL Y % MALLA +65



**PRODUCCION DE COBRE FINO EN FUNCION DE LA DUREZA
DEL MINERAL Y EL TONELAJE DE PLANTA
(Ley cabeza 0.75%)**



RELACION DE MALLA +65 VS P80
OVERFLOW DE MOLINOS



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El principal propósito de este estudio fue investigar la factibilidad de usar nuevos métodos alternativos para la determinación de Work Index, frente al estándar desarrollado por F.C. Bond. Se ha dado énfasis a su aplicación Industrial. Para este trabajo se utilizó los siguientes equipos:

1. Molino de bolas de Laboratorio de 12" x 12" para Pruebas de Work Index por F.C. Bond estándar y modificado – corto. Molienda seca.
2. Molino de Laboratorio ordinario de 6" x 12" para métodos alternativos. Molienda húmeda.

Las conclusiones de este estudio son:

1. El método alternativo de mayor coeficiente de correlación es el método modificado de Bond corto, con un valor de 95%.
2. Los otros métodos también presentan un coeficiente de correlación aceptable de 85 a 90% y son considerados válidos para ser usados con fines de control y para el caso de muestras que no satisfacen la granulometría de 100% - 6 M, porque son el resultado de un proceso de molienda y concentración previo
3. Los minerales de cobre estudiados presentan un rango Work Index de Bond entre 10.3 y 20.46 con un promedio aritmético de 13.45 Es

importante resaltar que para obtener el Work Index promedio de una mina, es necesario conocer los Work Index por cada tipo o zona de mineral, con su respectivo tonelaje de reserva, para calcular un promedio ponderado.

4. El Work Index con las pruebas de flotación son considerados como parámetros principales para los modelos geometalúrgicos de bloques en el planeamiento de minado, con los cuales es posible predecir las variaciones de la capacidad de planta y la producción del contenido metálico.
5. La relación W_{iop}/W_{ibond} es una herramienta de optimización en los circuitos de molienda y clasificación, porque permite detectar deficiencias energéticas.

Los valores promedios registrados de W_{iop}/W_{iBond} en el circuito evaluado es de 1.08. Según las recomendaciones de Rowland, este valor se encuentra en un rango aceptable.

Esto tiene una explicación, porque para este caso dos de los diez molinos de bolas evaluados, son de gran tamaño 20' x 33' con un motor de 9000 Hp cada uno, existiendo una premisa que a mayor diámetro de los molinos el proceso de conminución es más deficiente.

RECOMENDACIONES

Aunque estas aplicaciones están referidas sólo a molinos de bolas, trabajos similares pueden ser obtenidos para molienda SAG. Los siguientes trabajos son recomendados para continuar con la investigación en el campo de la conminución.

1. Desarrollo de procedimientos estándar para correlacionar la dureza de Laboratorio con los resultados de planta para molienda SAG. Estos

trabajos actualmente son desarrollados por la empresa MINNOVEX de Canadá.

2. Para la determinación de Work Index de Bond, algunos fabricantes de molinos de Laboratorio recomiendan usar cargas balanceadas como alternativa a la carga estándar de Bond. Sin embargo, es recomendable mantener el peso y la distribución de carga de original, porque dichos cambios influyen con la distorsión de resultados.
3. Difusión e implementación de los nuevos métodos alternativos en los Laboratorios Metalúrgicos de nuestro medio como una herramienta rutinaria de trabajo.

REFERENCIAS

ABNT, Mohíno de Bolas – Determinacao do Indice de Trábalho
- Método de Ensaio, ABNT-EB-22.

AUSTIN L. CONCHA F. (1990). Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación. CYTEL Tecnología Mineral.

AUSTIN L.G., KLIMPEL R.R. and LUCKIE P.T. 1984. The process engineering of size reduction: ball milling. AIME, New York.

BOND F.C. 1946. Crushing tests by pressure and impact. Trans SME/AIME, 169, 58-66

BOND F.C. 1952. The third theory of comminution. Trans. SME/AIME, 193, 484-494.

BOND F.C. 1961. Crushing and grinding calculations. Part I British Chem Eng 6(6) 378-385; Part II British Chem Eng 6(8) 543-548

BOND F.C. 1961. Crushing and grinding calculations. Allis Chalmers Publication No. 07R9235B

BERGSTROM, B.H. Crushability and Grindability. In SME Minerals Processing Handbook, edited by N.L. Weiss. SME Inc., Littleton, 1985, pp. 30-65-68.

BERRY, T.F., AND BRUCE, R.W., 1966, "A Simple Method of Determining the Grindability of Ores", Canadian Mining Journal, Vol. 87, pp. 63-65.

CUSTER, S., GARRETSON, P., MCMULLEN, J., BENNETT, C., DOBBY, G. (2001) Application of CEET at Barrick's Goldstrike Operation, Proc. Canadian Mineral Processors Meeting, Ottawa

DEISTER RENE J. (1987). How o Determine the Bond Work Index Using lab Ball mill Grindability Test. E&MI February.

HERBST, J.A., AND SEPÚLVEDA, J.L., 1980, "Particle Size Análisis", Mineral Processing Handbook, AIME, to be published.

JAUREGUI R.O. (1982), in: I Encontro do Hemisfério sul sobre Tecnologia Mineral, Anais I, 358.

JKTECH (1989), JKSimMet Supplementary Information Manual. Indooroopilly, Queensland: JKMRC.

JKTECH (1994), JKSimMet Steady State Mineral Processing Simulator. [Computer Program]. Indooroopilly, Queensland: JKMRC.

JAUREGUI R., SEPULVEDA L, YAP F. (1982). Determination of the Bond Work Index Using and Ordinary Labotory Batch Ball Mill. Desig, installation of comminution circuits pp. 176 – 203. SME.

KARRA, V.K., 1981, "Simulation of the Bond Grindability Test," CIM Bulletin, Vol. 74, No. 827, pp. 195-199.

KAPUR, P.C., 1970, "Analysis of the Bond Grindability Test", Trans. IMM, Vol. 79, pp. C-103-108.

KAWATRA S. KOMAR (9997) Comminution Practices (SME)

KOSICK, G. AND BENNETT, C. (1999) The Value of Orebody Power Requirement Profiles for SAG Circuit Design, Proc. Canadian Mineral Processors Meeting, Ottawa

LYNCH A.J. 1977. Mineral crushing and grinding circuits: their simulation, optimization, design and control. Elsevier, 340 pp

LYNCH A.J. and MORRELL S. 1992. The understanding of comminution and classification and its practical application in plant desing and optimization. Comminution: Theory and Practice, Ed: Kawatra, 405-426 (AIME).

McIVOR R.E., LAVALLEE M.L., WOOD K.R., BLYTHE P.M. and FINCH J.A. Functional performance characteristics of ball milling. Min Eng, 42(3), 269-276

MULAR A.L. and JULL N.A. 1980. The selection of cyclone classifiers, pumps and pump boxes for grinding circuits. Min Proc Plant Design, Eds: Mular and Bhappu, Ch17, SME, 376-403.

MOSHER J.B. JAGUE C.B. (2000) Precision and Repeatability de Bond Grindability Testing A.R. MacPherson Consultans Ltd.

NAPIER-MUNN ET. AL. (1999, Mineral Comminution Circuits – Their Operation and Optimisation. (JKMARC Monograph Series in Mining and Mineral Processing 2). Indooroopilly, Queensland: JKMRC.

RODICA M.T. SCARLAT (1992) Work Index Indice Energético de Moagem (1992) CETEM-Rio de Janeiro

ROWLAND Jr C.A. and KJOS D.M. 1978. Rod and ball mills. Ch 12 in Mineral Processing Plant Design, (Eds: Mular and Bhappu), SME, 883pp

ROWLAND Jr C.A. 1982. Selection of rod mills, ball mills, pebble mills and regrind mills. Design and installation of comminution circuits (Eds: Mular and Jergensen), SME/AIME, New York, 393-438.

SCHNEIDER C.L. and KING R.P. 1995. A comprehensive simulation of an industrial comminution circuit treating taconite. Proceedings XX Int Min Proc Congress, San Francisco, 1, 49-54 (SME)

SCHUMANN R. (1960). Mining Engrs. 12, 161-164.

(1960), Energy Impact and Size Distribution in
Comminution, Trans. Inst. Min. Engrs., 217, 22-25

SMITH, R.W. and LEE, K.H. A Comparison of Data from Bond Type Simulated Closed Circuit and Batch Type Grindability Test. Trans. S.M.E./A.I.M.E. 241, 91 (1968).

TINNEY D. and EDWARDS R. (1999), Evaluation of the 1A & 1B Grinding Circuits. Kelowna, BC: Svedala Process Technology

WILLS B.A. 1992. Mineral Processing Technology. 5th Ed., Pergamon Press, Oxford, 855pp

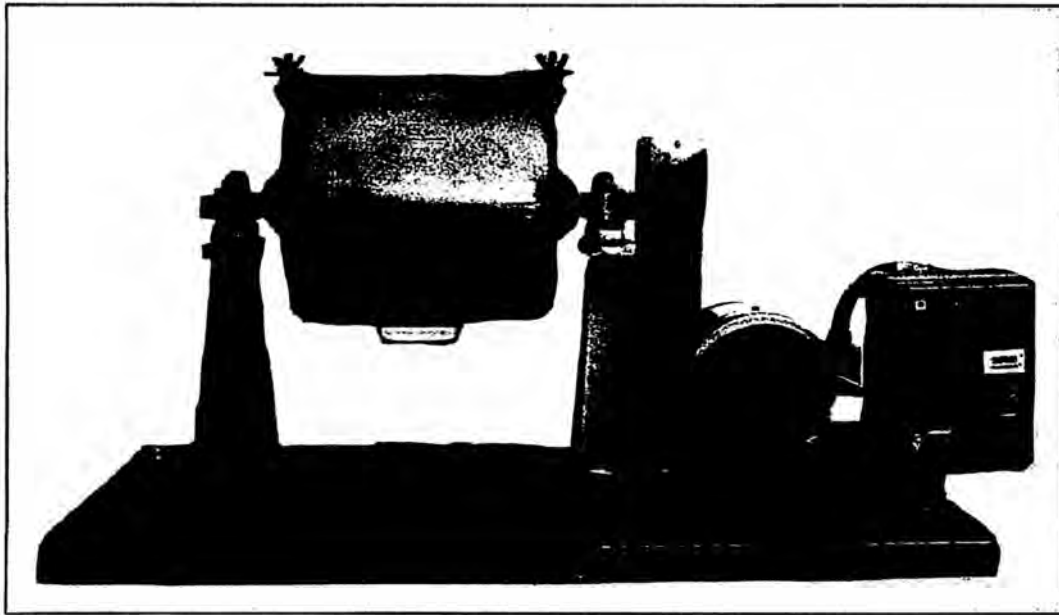
WHITEN W.J. 1972c. The use of periodic spline functions for regression and smoothing. Aust Comp J, 4, 31-34.

APÉNDICE

APÉNDICE A

MOLINO DE BOND

Designed by F.C. bond for use by cement companies and quality control laboratories throughout the world. Can be used in calculating the grindability of all ore. The digital counter indicates the countdown and it shuts off the direct drive gear motor. **Operator attention during this time is not required.** A jogging button is provided to position the drum for loading and unloading. A manual jog is possible for precise positioning.

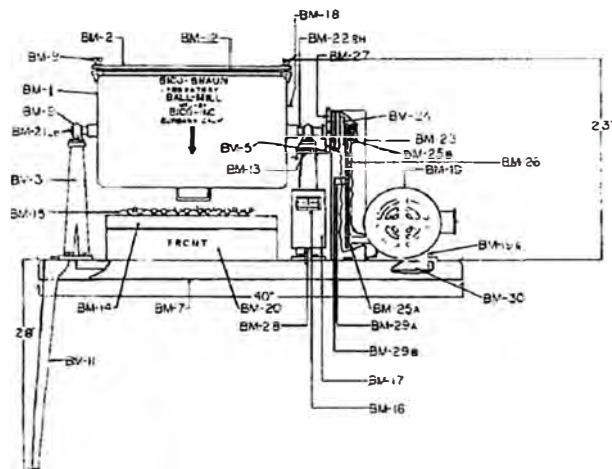


Standard Features

- All ball mills come standard with one 44.5 lb. charge of iron balls, iron stand, receiving pan and hand screen pan.
- 12" cast iron drum

Models

- Model 395-50
220 Volt, 3ph, 60 cycle
- Model 395-51
110/220, 1ph, 60 cycle
- Model 395-51X
110/220 v, 1ph, 50 cycle



APÉNDICE B

TABLA DE WORK INDEX PARA DIFERENTES MATERIALES

Material	Average			Material	Average		
	No Of Test	Specific Gravity	Work Index Wt		No Of Test	Specific Gravity	Work Index Wt
All materials tested	288	-	1381	Kyanite	4	3.23	1887
Andesite	6	2.84	22.13	Lead ore	22	3.44	11.4
Basalt	11	4.28	6.24	Lead-zinc ore	27	3.37	11.35
Basalt	10	2.89	20.41	Limestone	119	2.69	11.61
Basalt	11	2.38	9.45	Limestone for cement	62	21.68	10.18
Cement clinker	60	3.09	13.49	Manganese ore	15	3.74	12.46
Cement raw material	87	2.67	10.57	Magnetite, dead burned	1	5.22	16.8
Chromite ore	4	4.05	9.6	Mica	2	2.89	134.5
Clay	9	2.23	7.1	Molybdenum	6	2.7	12.97
Clay, calcined	7	2.32	1.43	Nickel ore	11	3.32	11.88
Coal	10	1.63	11.37	Oil shale	9	1.76	18.1
Coke	12	1.51	20.7	Phosphate fertilizer	3	2.65	13.03
Coke fluid petroleum	2	1.63	38.6	Phosphate rock	27	2.66	10.13
Coke, petroleum	2	1.78	73.8	Potash ore	8	2.37	8.88
Copper ore	308	3.02	13.13	Potash salt	3	2.18	8.23
Coral	5	2.7	10.16	Pumice	4	1.96	11.93
Dolomite	6	2.78	19.4	Pyrite ore	4	3.48	8.9
Dolomite	18	2.82	11.31	Pyrophyllite ore	3	4.04	9.57
Emery	4	3.48	58.18	Quartzite	16	2.71	12.18
Feldspar	8	2.59	11.67	Quartz	17	2.64	120.77
Ferro-chrome	18	6.75	8.87	Rutile ore	5	2.84	12.12
Ferro-manganese	10	5.91	7.77	Sandstone	8	2.68	11.53
Ferro-silicon	15	4.91	12.83	Shale	13	2.58	16.4
Flint	5	2.65	26.16	Silica	7	2.71	13.53
Fluorspar	8	2.98	9.76	Silica sand	17	2.65	16.46
Gallium	4	2.83	18.45	Silicon carbide	7	2.73	26.18
Gelera	7	5.39	10.19	Silver ore	6	2.72	17.3
Gemat	3	3.3	12.37	Sinter	9	3	8.77
Glass	5	2.58	3.08	Slag	12	2.93	15.76
Grass	3	2.71	20.13	Slag, iron blast furnace	6	2.39	12.16
Gold ore	209	2.86	14.83	Slate	5	2.48	13.83
Granite	74	2.68	14.39	Sodium silicate	3	2.1	13
Graphite	56	1.75	45.03	Spodumene ore	7	2.75	13.7
Gravel	42	2.7	25.17	Syenite	3	2.73	145.9
Gypsum rock	5	2.69	8.16	Tile	3	2.59	15.53
Iron ore	7	4.27	13.11	Tin ore	9	3.94	10.81
Iron ore	8	3.96	15.44	Titanium ore	16	4.23	11.88
Iron ore	79	3.76	12.68	Trip rock	49	2.86	21.1
Iron ore	74	3.29	15.4	Uranium ore	20	2.7	17.93
Iron ore	6	3.32	11.33	Zinc ore	10	3.68	12.42
Iron ore	2	2.53	8.45				
Iron ore	83	3.88	10.21				
Iron ore	66	3.52	14.87				