



T  
622.77  
CAM

# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERIA  
EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

*“Concentración de Oro por separación magnética  
por vía seca de los concentrados del río Paute”*

**::: TESIS DE GRADO :::**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN GEOLOGIA**

Presentado por:

***María Eugenia Campozano Ycaza***

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1991**



# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA

EN CIENCIAS DE LA TIERRA

"CONCENTRACION DE ORO POR SEPARACION MAG-  
NETICA POR VIA SECA DE LOS CONCENTRADOS DEL  
RIO PAUTE

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de :

INGENIERA EN GEOLOGIA



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Presentado por :  
**MARIA EUGENIA CAMPOZANO Y CAZA**

GUAYAQUIL - ECUADOR

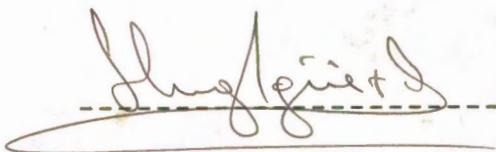
1.991

"MI AGRADECIMIENTO AL CICYT Y AL DIRECTOR DE ESTA TESIS,  
ING. HUGO EGUEZ ALAVA, POR SU CONTRIBUCION PARA LA REA-  
LIZACION DE LA MISMA; Y A AQUELLAS PERSONAS CERCANAS A  
MI QUE DE IGUAL FORMA APOYARON ESTA LABOR".

A MI HIJO

A MI ESPOSO

A MI FAMILIA

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hugo Eguez A.", is written over a horizontal dashed line. A solid horizontal line is drawn below the dashed line, extending slightly beyond its ends.

ING. HUGO EGUEZ A.

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE A SU AUTOR, Y EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA TESIS DE GRADO CORRESPONDERA A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

---



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## RESUMEN

Debido a la importancia que la recuperación de oro ha tomado en la actualidad, se ha realizado un estudio en el que se ha probado la eficiencia del Separador Magnético de Cilindro Inducido, Modelo de Laboratorio, para los concentrados auríferos del río Paute (Sector Mendez), utilizando el método de concentración magnética por vía seca.

Este estudio presenta información sobre las características geológicas de las terrazas auríferas del río Paute (Sector Méndez), sobre los fundamentos de la separación magnética, las propiedades magnéticas de los minerales, los tipos de separadores magnéticos por vía seca utilizados en concentración y sobre como funciona el aparato.

En el trabajo de tesis se determinó la composición mineralógica del concentrado, su granulometría y se prepararon muestras artificiales de concentrado de arena con una determinada ley de oro.

Luego se efectuaron unas 55 pruebas que nos permitieron conocer valores eficientes de los parámetros de funcionamiento del aparato como: rata de alimentación, velocidad de rotación del cilindro, posición de los divisores, corriente; y tamaño de grano del oro y la arena en conjunto; las mis-

mas que nos llevaron a obtener rendimientos mayores al 95% y tasas de concentración de hasta 8 veces la ley original.)

Los resultados de este estudio nos indican que el método - de concentración usado puede ser una forma alternativa para la concentración de oro, cuando se trate de arenas conteniendo minerales magnéticos principalmente, obtenidas en forma natural o por algún método de preconcentración.



**BIBLIOTECA FICT**  
**ESPOL**

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

msnm	Metros sobre el nivel del mar.
$\mu$	Micras
$\mu_0$	Constante de permeabilidad magnética en el vacío.
$g/m^3$	Gramos por metro cúbico.
$Ton/m^3$	Toneladas por metro cúbico
$g/cm^3$	Gramos por centímetro cúbico.
rpm	Revoluciones por minuto
Mg	Producto Magnético
Mx	Producto Mixto
NM	Producto No Magnético.
$^{\circ}C$	Grados Celsius.
$^{\circ}K$	Grados Kelvin.
lbs/h/pulg	Libras por hora por pulgada
A	Amperios.
Mx+NM	Producto Conjunto
R.A.	Rata de alimentación
i	Corriente.
V.C	Velocidad del cilindro
RPPAu	Recuperación proporcional porcentual de Oro
⊙	Valores de rendimiento
⊗	Valores de tasa de concentración
↑	Aumento
↓	Disminución
<<	Disminuye ligeramente
>>	Aumenta considerablemente



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

di	Divisor interno.
de	Divisor externo
	Producto Magnético
	Producto Mixto
	Producto No Magnético



**BIBLIOTECA FICT**  
**ESPOL**

## INDICE GENERAL

- Indice de Tablas
- Indice de Figuras

### CAPITULO # 1

#### INTRODUCCION

- 1.1.- Objetivo del estudio 20
- 1.2.- Método de trabajo. 20

### CAPITULO # 2

#### GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

- 2.1 Geología local 22
- 2,2 Descripción del yacimiento 24
- 2.3 Obtención de muestras. 29

### CAPITULO # 3

#### CONCENTRACION MAGNETICA POR VIA SECA

- 3.1.- Fundamentos teóricos generales. 31
  - 3.1.1 Origen de los efectos magnéticos 31
  - 3.1.2 Magnitudes Magnéticas. 32
- 3.2 Propiedades Magnéticas de los minerales
  - 3.2.1 Propiedades magnéticas de los sólidos 39
  - 3.2.2 Propiedades magnéticas en los minerales. 48
- 3.3 Tipos de Separadores Magnéticos. 56

## CAPITULO # 4

## SEPARADOR MAGNETICO DE CILINDRO INDUCIDO

- 4.1 Funcionamiento del aparato. 68
- 4.2 Variables que influyen en la eficiencia del separador: 72
- 4.2.1 Rata de alimentación
- 4.2.2 Posición de los divisores
- 4.2.3 Velocidad de rotación del cilindro
- 4.2.4 Corriente decampo.
- 4.2.5 Tamaño de grano.
- 4.2.6 Espacio entre los polos y el cilindro.

## CAPITULO # 5

## MINERALOGIA DE LOS CONCENTRADOS

- 5.1 Composición del concentrado. 76
- 5.2 Rango granulométrico del concentrado. 76
- 5.3 Distribución granulométrica del oro en los concentrados. 77
- 5.4 Determinación del tenor de oro de los concentrados. 77



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

## CAPITULO # 6

## PARTE EXPERIMENTAL

- 6.1 Preparación de muestras. 83
- 6.2 Preparación para las pruebas. 84
- 6.2.1 Recuperación del oro.
- 6.2.2 Ajuste de la rata de alimentación
- 6.3 Pruebas con variación de los parámetros. 90

- 6.3.1 Variación de la tasa de concentración y el rendimiento en función de la rata de alimentación, velocidad del cilindro y tamaño de grano.
- 6.3.2 Variación de la tasa de concentración y el rendimiento en función de la corriente y el tamaño de grano.

## CAPITULO # 7

### ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- 7.1 Analisis de las variables: Rata de alimentación, velocidad del cilindro y tamaño de grano. 99
- 7.2 Análisis de las variables: Corriente y tamaño de grano. 126

## CAPITULO # 8

- APLICACIÓN PRACTICA DEL ESTUDIO 133
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
- BIBLIOGRAFIA 142



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## INDICE DE TABLAS

- Tabla I. Susceptibilidades diamagnéticas molares de iones a 20°C.
- Tabla II. Susceptibilidad magnética específica de minerales diamagnéticos a 20°C.
- Tabla III. Susceptibilidad magnética específica de minerales paramagnéticos a 20°C.
- Tabla IV. Velocidad de rotación del cilindro - del separador, medida con tacómetro.
- Tabla V. Composición del concentrado de arena en porcentaje.
- Tabla VI. Cálculo del análisis granulométrico - del concentrado de arena.
- Tabla VII. Cálculo del histograma del oro.
- Tabla VIII. Distribución del concentrado de arena para distintas posiciones del divisor externo.
- Tabla IX. Ejemplo de obtención de la tasa de con centración.
- Tabla X. Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 8-30 mallas.
- Tabla XI. Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 30-40 mallas.
- Tabla XII. Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 40-70 mallas.
- Tabla XIII. Resultados de las pruebas para el rango



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

de tamaño del oro de 70-100 mallas

- Tabla XIV. Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 100-200 mallas.
- Tabla XV. Valores de los parámetros de las pruebas con mejores resultados obtenidos.
- Tabla XVI. Resultados de las pruebas cuando la corriente es 0.5A.
- Tabla XVII. Resultados de las pruebas cuando la corriente es 2.8A.
- Tabla XVIII. Medidas de la distribución del concentrado en los productos Mg, Mx y NM al variar el espaciamento superior entre los polos magnéticos y el cilindro.



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## INDICE DE FIGURAS

- FIGURA #1. Ubicación del área de estudio.
- FIGURA #2. Anillo de Rowland.
- FIGURA #3. Una curva de magnetización para el hierro.
- FIGURA #4. Tajada hipotética del anillo de Rowland.
- FIGURA #5. Orientación de los dipolos magnéticos en cristales y en sus dominios para un espécimen ferromagnético policristalino
- FIGURA #6. Comportamiento magnético típico de las sustancias.
- FIGURA #7. Orientación de los dipolos magnéticos elementales.
- FIGURA #8. Variación de la temperatura Curie con la composición para titano-magnetitas.
- FIGURA #9. Relación de saturación de la magnetización específica a  $0^{\circ}\text{K}$  a la composición para titano-magnetitas.
- FIGURA #10. Cilindro magnético de polo axial tipo agitador.
- FIGURA #11. Separador magnético de alta intensidad de cinta transversal.
- FIGURA #12. Separador magnético tipo campana.
- FIGURA #13. Separador de cilindro inducido moderno y construcción típica de un rotor.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

FIGURA #14. Separador magnético de cilindro inducido tipo elevador.

FIGURA #15. Esquema de funcionamiento del separador magnético de cilindro inducido.

FIGURA #16. Curva granulométrica del concentrado.

FIGURA #17. Histograma de la distribución porcentual del oro.

FIGURA #18. Deflección del haz de partículas en el polo superior del separador magnético.

FIGURA #19. Variación del rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación (fracción 8-30 mallas ASTM).

FIGURA #20. Variación del rendimiento en función de la velocidad del cilindro para rata de alimentación (fracción 30-40 mallas ASTM).

FIGURA #21. Variación del rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación (fracción 40-70 mallas ASTM).

FIGURA #22. Variación del rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación (fracción 70-100 mallas ASTM).

FIGURA #23. Variación del rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

rata de alimentación (fracción del oro 100-200 mallas ASTM).

- FIGURA #24. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro (fracción del oro 8-30 mallas ASTM).
- FIGURA #25. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro (fracción de oro 30-40 mallas ASTM).
- FIGURA #26. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro (fracción de oro 40-70 mallas ASTM).
- FIGURA #27. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro (fracción de oro 70-100 mallas ASTM).
- FIGURA #28. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro (fracción de oro 100-200 mallas ASTM).
- FIGURA #29. Variación de la tasa de concentración y el rendimiento conjunto promedio en función de la rata de alimentación.
- FIGURA #30. Variación de la tasa de concentración y el rendimiento en función del tama-



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

ño de grano (corriente 0.5 A.)

FIGURA #31. Variación de la tasa de concentración  
y el rendimiento en función del tama-  
ño de grano (corriente 2.8 A.).

1.1 OBJ.

El %

dos

trac

radr

este

terro

nd r

g-09

Se 7

on

del

nes

2 METC

Este

ren

plu's

no

ar

de

## CAPITULO # 1

### INTRODUCCION



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

#### 1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO :

El optimizar la concentración de oro de los <sup>concentra-</sup>dos auríferos aluviales por medio del método de concentración magnética por vía seca, haciendo uso del Separador Magnético de Cilindro Inducido, es el objetivo de este trabajo; con el mismo se quiere dar un método alternativo de concentración, que presente ventajas como no producir desechos nocivos, ser un método más rápido y quizás más rentable y de menor gasto de energía.

Se quiere obtener los parámetros y los rangos dentro de los cuales los mismos influyen en el rendimiento del separador magnético (que en este caso hace funciones de concentrador).

#### 1.2 METODO DE TRABAJO :

Este consiste en una recopilación bibliográfica referente al tema, y en la realización de una serie de pruebas tendientes a probar la eficiencia del separador con respecto al oro. Para esto se utilizó muestras artificiales de concentrado de arena con una determinada ley de oro y se fueron variando los parámetros de -

funcionamiento del separador, y el tamaño de grano del oro y del concentrado de arena en conjunto, efectuándose así unas 45 pruebas.

Debido a que no habían para este trabajo, valores de referencia para los parámetros de funcionamiento del separador, la variación de los mismos se la hizo en forma combinada de tres parámetros al mismo tiempo, éstos fueron: rata de alimentación, velocidad de rotación del cilindro y tamaño de grano.

Se realizó luego el análisis de los resultados de las pruebas lo que permitió proseguir con las mismas para los parámetros de funcionamiento del separador: corriente y tamaño de grano.

Por último se efectuó el análisis de resultados final de donde se obtuvo las conclusiones presentadas al final de esta tesis.



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## CAPITULO # 2

### GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

#### 2.1 GEOLOGIA LOCAL:

El yacimiento se encuentra constituido en parte por la formación Mesa (Tschopp 1953) compuesta de potentes depósitos de pie de monte, volcánico fluviátiles, extendidos desde las cadenas orientales de los Andes sobre la parte oeste del Oriente ecuatoriano; donde ocultan las formaciones más antiguas en amplias áreas. Estos depósitos en abanico comprenden por lo menos 5 niveles de terrazas, escalonadas entre 1460 y 450 m de altitud (2).

Se puede subdividir la formación en dos partes: las terrazas superiores y, las terrazas inferiores de donde el Miembro Mera es la más clara. Las terrazas superiores están todavía conservadas en los primeros 20 km al este de los Andes, en forma de mesas aisladas o apoyadas contra la escarpa de los Andes. Las terrazas inferiores bajan suavemente desde unos 1150m de altitud - cerca de los Andes hasta unos 900m, 30 km más al este. La Mesa de Mera se compone de arcillas y areniscas tobáceas, con varios horizontes de conglomerados gruesos con estratificación cruzada de tipo torrencial; tambi-



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

én se encuentran comúnmente bloques de granito y gneis Tschopp (1953) parece incluir también bajo el mismo nombre, la formación Rotuno que corresponde a una mesa muy dislocada, posiblemente pliocénica, desarrollada al este de las estructuras subandinas y parcialmente cubierta en discordancia angular por la prolongación de la Mesa de Mera (cuaternaria) (2).

La formación Rotuno tiene una potencia que sobrepasa los 100m, consiste en su parte basal de areniscas tobáceas y tobas arenosas finas de color pardo oscuro, con unos pocos conglomerados e intercalaciones arcillosas hacia el este pasa a una alternancia de areniscas y arcillas tobáceas. Tiene ambos límites, el superior y el inferior, en discordancia angular. Campbell (1970) consideró equivalentes las formaciones Mesa del Ecuador norte y Rotuno de la sub-cuenca de Pastaza y las colocó en el Plioceno (2).

La otra parte del yacimiento, que está sobreyaciendo la formación Mesa, está formada por depósitos les más recientes dejados por los ríos Negro y Paute a uno y otro lado de sus márgenes. Estos sedimentos están dispuestos a manera de terrazas también escalonadas que se desarrollan entre los 500 y 600 msnm, en el área estudiada. (5).

Las terrazas poseen generalmente una débil capa de sue



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

lo que en algunas zonas llega a menos de 50 cm de espesor, posteriormente se encuentran gravas auríferas con clastos de granulometría variable pero que no sobrepasan los 20 cm de diámetro hacia la base de las terrazas; es frecuente encontrar horizontes rojizos producto de la oxidación de sulfuros y con la presencia de óxidos de hierro, éstos horizontes tienen una alta ley de oro (5).

La matriz de las terrazas está compuesta de arena gruesa que a veces está cementada con óxidos de hierro, las arcillas son poco frecuentes. La naturaleza de los clastos es variable, se han encontrado clastos metamórficos como gneiss y esquistos que posiblemente se desprendieron de la cordillera Real (5).

También son comunes los basaltos y andesitas, algunos pórfidos, y entre las rocas sedimentarias tenemos areniscas de la formación Hollín y lutitas. También son frecuentes clastos de cuarzo de veta con señales de mineralización (5).



## 2.2 DESCRIPCION DEL YACIMIENTO:

Las muestras estudiadas en este trabajo mineralógico, corresponden a una área de concesión solicitada al INEMIN para estudios Geológico-Mineros de prospección, en Agosto de 1987, denominada "Paute" y ubicada en la Provincia de Morona-Santiago, Cantón Méndez.

BIBLIOTECA FICT

ESPOL

Más concretamente los trabajos de prospección en ésta área de concesión, se realizaron en las terrazas jóvenes de los ríos Paute y Negro. El área de interés minero calculada en base a la delimitación de estas terrazas por fotointerpretación fue de aproximadamente 49.5 has. que representan el 40% del área en estudio (5).

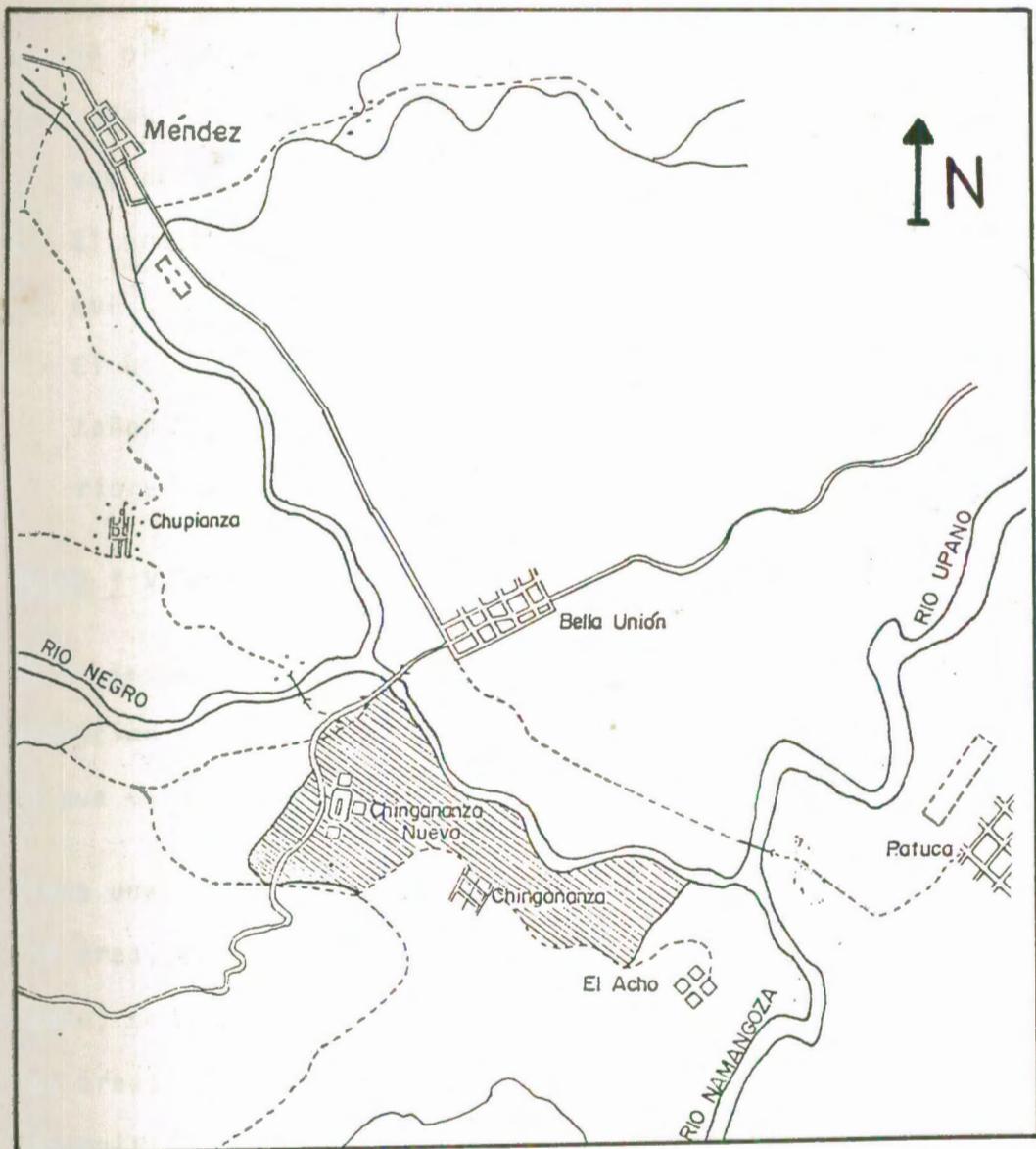
El resultado de los análisis de laboratorio permitió seleccionar dos áreas de interés:

- La zona de Chingananza Vieja en donde los pozos perforados 1 y 2 poseen una granulometría gruesa de arenas y gravas fáciles de lavar, con oro de característica gruesa y tenores promedios de  $0.26 \text{ g/m}^3$ ; con este valor de tenor constante y una área de aproximadamente 13 has. que comprende estos dos bancos, se tendría un volumen aproximado de  $520.000 \text{ m}^3$  de grava, suponiendo un espesor promedio de 4m y una cantidad aproximada de oro de 135.000 gramos (5).
- La segunda área de interés está ubicada en la zona de Chingananza Nueva, la misma que presenta una sobrecarga considerable y que en caso de explotarse se tendría que desalojar; los valores altos en el tenor de oro están en la base de la excavación, y sobre el bed-rock llegando el último horizonte a tener leyes de  $1.2 \text{ g/m}^3$  de oro grueso presente en gravas y arenas fáciles de tratar mecánicamente (5).



Biblioteca FICT





Escala 1:5000



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig#1. Ubicación del área de estudio (4)

- a.- El primer nivel consta de terrazas alargadas y escalonadas recientes que se alinean con el eje del río y van desde una cota de 500 msnm hasta unos 600 msnm.
- b.- El segundo nivel consta de amplias terrazas antiguas que se desarrollan a los 600 msnm.
- c.- El último nivel tiene características topográficas montañosas con pendientes mayores de 45° y altitudes superiores a los 700 msnm (5).

#### CLIMA Y VEGETACION :

Es un sector de lluvias abundantes durante todo el año a excepción de los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre en que éstas son menores (5).

Tiene una vegetación exuberante de tipo tropical y extensas áreas de selva virgen rica en maderas finas, como la caoba, cedro, etc. Los sitios de cultivo están limitados a las áreas planas, semiplanas y a las terrazas del río Paute; cultivándose más que nada cacao, achiote, naranjillas, plátano y pasto para ganadería (5).

#### ECONOMIA DE LA ZONA :

Esta zona se dedica a la agricultura, ganadería y minería artesanal de oro aluvial de los ríos y quebradas; su producción es difícil de estimar (5).



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### 2.3 OBTENCION DE MUESTRAS:

Las muestras de oro utilizadas en los concentrados y los concentrados de arena usados en las pruebas del Separador Magnético de cilindro inducido, se obtuvieron de la siguiente manera:

- 1.- En frentes o taludes naturales estables se procedió a abrir una trinchera de aproximadamente 2 m. por cada lado y de profundidad variable, dependiendo de los cambios de litología del frente de excavación, los lados de la trinchera se cerraban escalonadamente. El material excavado se arrojaba a la base del tálud de donde en baldes o bateas era acarreado a una criba ubicada en la parte superior de un canalón (5).
- 2.- El material en el canalón era lavado con agua obtenida de un río o quebrada.
- 3.- Luego éste material era acumulado en el canalón y concentrado y liquidado en bateas de madera; los canalones usados eran de aproximadamente 3.5 m de largo por 40 cm de ancho; en su interior se puso sacos de cabuya colocando el más fino en la parte inferior y el más grueso (5mm de abertura) en la parte superior; la recuperación de oro en el canalón fue optimizada usando riffles de 2.5 cm de alto dispuestos perpendicularmente al flujo y separados aproximadamente cada 30 cm; la pendiente del ca

nalón se graduaba a no más de 8° (5).

En total se completaron 27 muestra de distintos niveles en cinco diferentes trincheras y pozos.

Los concentrados fueron secados y tamizados obteniéndose las siguientes fracciones de concentrado aurífero:

Fracción mallas(ASTM)	Fracción mm.
+40	>0.42
40-70	0.42-0.21
70-100	0.21-0.149
-100	<0.149

Luego se separó la fracción magnética (minerales magnética-ilmenita) usando un imán permanente. Con el este-reomicroscopio se separaron manualmente las pintas de oro de todas éstas fracciones, a excepción de la última fracción por ser muy fina (5).

La fracción de oro menor de 100 mallas fue tratada por ensayos pirometalúrgicos, fundida en crisoles de arcilla a 1100°C, el botón de plomo recuperado fue utilizado para obtener el oro (5).

La arena que conforma los concentrados y el oro agregado a ellos para las pruebas efectuadas en este estudio fueron lavadas en el canalón.



BIBLIOTECA  
ESPOL

## CAPITULO # 3

### CONCENTRACION MAGNETICA POR VIA SECA

#### 3.1 FUNDAMENTOS TEORICOS GENERALES :

##### 3.1.1 ORIGEN DE LOS EFECTOS MAGNETICOS ;

Todo campo magneto estático resulta del movimiento de cargas eléctricas, lo que incluye el movimiento orbital y el movimiento alrededor de un eje del electrón, conocido con el nombre de spin - (9).

Cualquier átomo en el que exista una circulación neta de carga se denomina dipolo magnético (9).

Un campo magnético ejercerá sobre cada átomo un momento sobre las corrientes electrónicas de modo que se dispondrán con sus planos perpendiculares al campo y con la inducción de cada uno en el mismo sentido que la del campo exterior (6).

La tendencia hacia la alineación uniforme de los dipolos magnéticos con sus campos propios paralelos al campo magnético exterior, está perturbada por la agitación térmica de los átomos que tiende a establecer una distribución al azar. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la tendencia a



BIBLIOTECA  
ESPOSO

la distribución al azar y menor el efecto de alineación (6).

### 3.1(2) MAGNITUDES MAGNETICAS :

Por definición se considera que el espacio en la vecindad de un imán o cerca de un conductor que lleva corriente es el asiento de un campo magnético  $B$ , también llamado Inducción Magnética (6)

Si una carga positiva  $q$  se dispara con una velocidad  $v$  por un punto  $P$  y si obra una fuerza (lateral)  $F$  sobre la carga que se mueve, hay una inducción magnética  $B$  en el punto  $P$ , siendo  $B$  el vector que satisface la relación :

$$F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \text{Eq.3.1 (6)}$$

La magnitud de la fuerza  $F$  está dada por ;

$$F = q v B \text{ sen } \theta \quad \text{Eq.3.2}$$

donde  $\theta$  es el ángulo entre  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ .

La unidad de  $B$  deducida de la ecuación 3-1 es el  $(N/coul)(m/s)$ ; se le ha dado el nombre especial de weber/ $m^2$  o tesla (4),

$$1 \frac{\text{weber}}{m^2} = \frac{1 \text{ N}}{\text{coul}(m/s)} = \frac{1N}{\text{amp}\cdot m}$$

El flujo magnético  $\Phi$  a través de una superficie dada es una cantidad escalar dada por la integral de superficie,

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{Eq.3.3}$$



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

La ley de Gauss para el magnetismo nos dice:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0 \quad \text{Eq.3.4}$$

Que el flujo magnético neto fuera de una superficie cerrada es cero ya que no hay carga magnética que actúe como fuente de inducción magnética. Esto implica que la componente normal de  $\mathbf{B}$  es continua a través de interfases (9).

La ley de Ampere para el magnetismo nos dice :

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = i \quad \text{Eq.3.5}$$

Que la integral de línea sobre una curva cerrada de la componente tangencial a la curva de  $\mathbf{H}$ , el vector llamado intensidad de campo magnético, es igual a la corriente eléctrica neta que pasa por el área limitada por la trayectoria cerrada.

Para un anillo de hierro (anillo de Rowland) al que se le enrolla una bobina toroidal, como se muestra en la fig. 2, cuando se hace pasar una corriente  $i$  por la bobina, si no hay anillo de hierro, se forma un campo de inducción dentro del toroide dada por la expresión :

$$B_0 = \mu_0 n i \quad \text{Eq.3.6 (6)}$$

Siendo  $n$  el número de vueltas por unidad de longitud del toroide o sea  $N/l$ , siempre y cuando  $d \ll r$ ; siendo  $d$  el espesor del toroide y  $r$  el ra

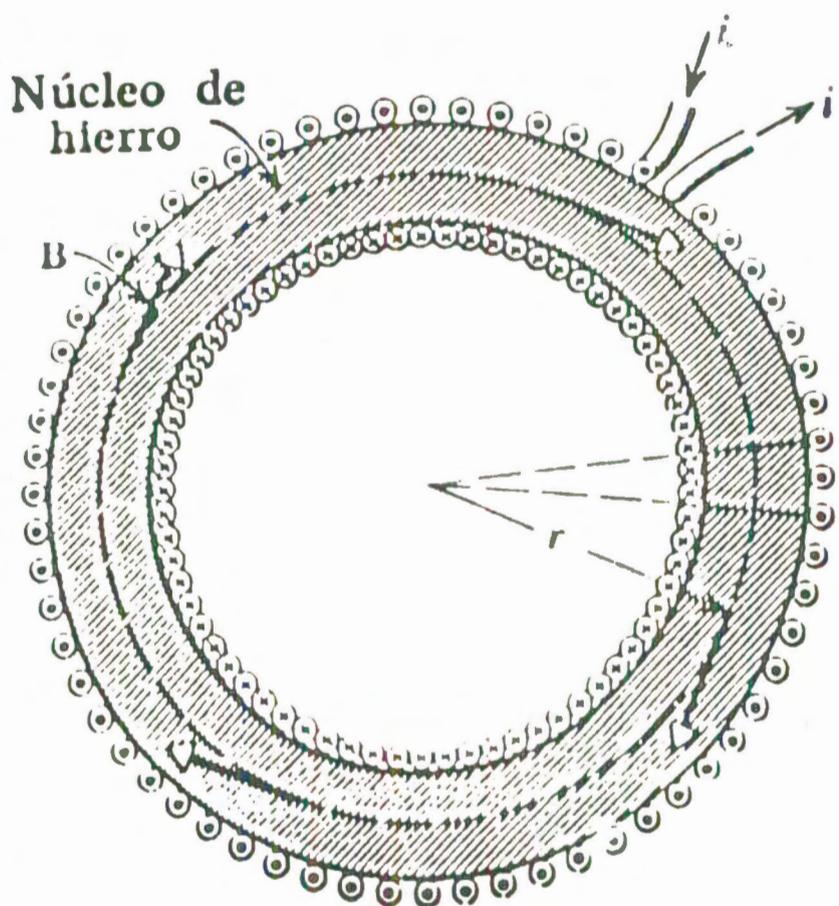


Fig #2. Anillo de Rowland.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

dio del mismo;  $\mu_0$  es la constante de permeabilidad que tiene un valor de  $4\pi \times 10^{-7}$  weber/amp-m (6).

Debido al núcleo de hierro el valor real de  $B$  en el espacio toroidal excederá a  $B_0$  en un factor - grande en muchos casos, ya que los dipolos atómicos elementales en el núcleo se alinean con el campo aplicado  $B_0$ , formando su propio campo de inducción (6).

$$\text{Por tanto } B = B_0 + B_M \quad \text{Ec.3.7 (6)}$$

Siendo  $B_M$  la inducción magnética debida a la muestra y que es proporcional a la magnetización  $M$  del hierro. A menudo  $B_M \gg B_0$ . La fig.3 muestra una curva de magnetización para el hierro.

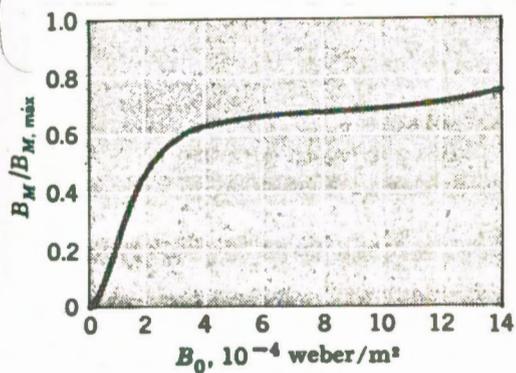
Como dijimos el gran valor de  $B$  en el anillo de Rowland se debe al alineamiento de los dipolos elementales en el hierro de forma que en una tajada hipotética del núcleo, fig.4, se tendría un momento magnético  $d\mu$  igual a la suma vectorial de todos los dipolos elementales contenidos en ella. Por tanto se define la magnetización  $M$  como el momento magnético por unidad de volumen del material del núcleo (6).

$$d\mu = M (Adl) \quad \text{Ec.3.8}$$

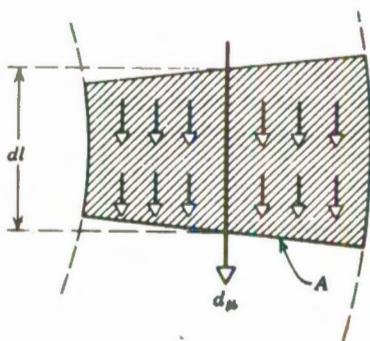
Siendo  $(Adl)$  el volumen de la tajada y  $A$  la sección transversal del núcleo (6).



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL



Fig#3. Una curva de magnetización para el hierro (6).



Fig#4. Tajada hipotética del anillo de Rowland (6).



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Las dimensiones de  $M$  son de A/m (6).

La ley de Ampere, en casos como éste (anillo de Rowland con núcleo de hierro), puede escribirse como sigue :

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 i + \mu_0 \oint M \cdot dl \quad \text{Ec.3.9 (6)}$$

Donde la cantidad:

$$H = \frac{B - \mu_0 M}{\mu_0} \quad \text{Ec.3.10}$$

Se llama intensidad de campo magnético  $H$ . Se puede escribir así también:

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M \quad \text{Ec.3.11}$$

Para materiales paramagnéticos y diamagnéticos, experimentalmente se observa que  $B$  es directamente proporcional a  $H$ , o sea :

$$B = k_m \mu_0 H \quad \text{Ec.3.12}$$

Donde  $k_m$ , es la permeabilidad del medio magnético, es constante para una temperatura dada y una densidad del material dada; eliminando  $B$  entre las ecuaciones 3.11 y 3.12 queda,

$$M = (k_m - 1) H \quad \text{Ec.3.13}$$

En el vacío donde no hay dipolos magnéticos que puedan alinearse, la magnetización  $M$  es cero, aplicando esto a la Ec. 3.13, tenemos:

$$B = \mu_0 H \quad \text{Ec.3.14 (6)}$$



BIBLIOTECA P  
ESPO

De donde se determina que  $k_m = 1$ .

Para materiales paramagnéticos,  $k_m$  es ligeramente mayor que la unidad, y para materiales diamagnéticos es ligeramente menor que la unidad. Para materiales ferromagnéticos, la relación entre  $B$  y  $H$  no es lineal, experimentalmente resulta que  $k_m$  es no sólo función de  $H$  sino también, debido a la histéresis, de la historia magnética y térmica del espécimen (6).

La relación adimensional de la intensidad de magnetización, al campo magnetizante, es llamada susceptibilidad magnética o susceptibilidad volumétrica  $X$  (9).

$$X = M/H \quad \text{Ec.3.15 (9)}$$

La razón de la magnetización específica al campo magnetizante es llamada susceptibilidad específica  $X_s$  (sus unidades son  $m^3/kg$ ).

$$X_s = M_s/H \quad \text{Ec.3.16 (9)}$$

como  $M_s = M/\rho \quad \text{Ec.3.17 (9)}$

donde  $\rho$  es la densidad del material ( $kg/m^3$ ).

entonces,

$$X_s = X/\rho \quad \text{Ec.3.18 (9)}$$



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

### 3.2 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MINERALES :

#### 3.2.1 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS SOLIDOS :

Las propiedades magnéticas de todos los materiales resultan de la carga eléctrica y del momento magnético de los electrones en los sólidos. El movimiento orbital de los electrones en los átomos da origen a los momentos de dipolo magnético y la suma de tales momentos junto con el total de momentos electrónicos por spin produce la magnetización interna total. Cambios en el movimiento del electrón y en la orientación del spin produce un momento magnético inducido por unidad de volumen (9).

Aunque hay una absoluta analogía con los momentos magnéticos resultantes de las partículas atómicas del núcleo, el momento magnético de éstas es varios órdenes de magnitud más pequeño que el debido a los electrones y por eso puede ser ignorado para propósitos prácticos(9).

La interacción de grupos de spin en pares antiparalelos, o sea electrones con espines opuestos que se aparean, hacen que se cancelen unos con otros, eliminando de esta manera el momento magnético por spin. Además el momento magnético asociado con las órbitas de todos los electrones en



BIBLIOTECA  
ESPAÑA

un sólido interactúan de forma que la magnetización neta es igual a cero. Por tanto las sustancias son magnéticamente inertes en ausencia de un campo magnético externo. Los casos en los cuales esto no sucede son presentados aquí :

#### DIAMAGNETISMO :

Se produce cuando en presencia de un campo magnetizante las órbitas de los electrones son alteradas de forma que la magnetización neta no desaparece. La susceptibilidad en este caso es negativa o sea que se opone al campo magnético aplicado . Ya que el momento magnético inducido es negativo, los materiales son repelidos de la zona en que el campo magnético es fuerte. La susceptibilidad diamagnética es independiente de la temperatura, aunque pueden ocurrir pequeños cambios con la temperatura debido a cambios en la órbita electrónica. La susceptibilidad diamagnética raramente excede de  $2 \times 10^{-4}$ ; en ciertos materiales puede ser anisotrópica (9).

#### PARAMAGNETISMO :

Se produce cuando uno o más spin electrónicos - por átomo o molécula no están apareados con un spin antiparalelo. La interacción de estos momentos magnéticos por spin con un campo magnetizan-



BIBLIOTECA FI  
ESPOL

te, externo, da lugar al comportamiento llamado paramagnetismo (9).

La susceptibilidad paramagnética está dada por :

$$X = C/T \quad \text{Ec.3.19}$$

Donde C es la constante de Curie característica del material, y T la temperatura absoluta; a su vez C está dada por:

$$C = \mu_0 n p_m^2 / k \quad \text{Ec.3.20}$$

Donde n es el número total de átomos por unidad de volumen,  $p_m$  es el momento magnético,  $\mu_0$  la constante de permeabilidad del vacío, k la constante de Boltzmann.(9).

Como la susceptibilidad paramagnética es positiva, los materiales son empujados hacia la región donde el campo magnético es más fuerte. El orden de magnitud de la susceptibilidad magnética es tal que aunque los efectos diamagnéticos están siempre presentes, estos son generalmente enmascarados por cualquier paramagnetismo presente, (9).

### FERROMAGNETISMO ;

En metales como el Hierro, Níquel y Cobalto, sus aleaciones y compuestos de estos elementos, la interacción entre spins causa spins sobre átomos adyacentes en el sólido y se alinean paralelamente



BIBLIOTECA  
ESPECIAL

te unos con otros . Esto quiere decir que todo - spin no apareado puede volverse paralelo y puede existir una magnetización permanente en ausencia de un campo magnético externo, debido a un campo molecular interno producido por los átomos entre sí. Este fenómeno se conoce como ferromagnetismo y la interacción especial entre los átomos adyacentes es llamada acoplamiento por intercambio, - (9).

El ferromagnetismo se rige por la ley de Curie - Weiss que dice :

$$\chi = C / (T - \theta) \quad \text{Ec.3.21 (9)}$$

Donde  $\theta$  es igual a  $\lambda C$ , y  $\lambda$  es una constante de orden de magnitud de  $10^3$  (9).

Según ésta ecuación, la susceptibilidad de un material ferromagnético a temperaturas arriba de la temperatura de Curie, se comporta similarmente a un material paramagnético. Esta ley es válida a temperaturas mayores que la de transición ferromagnética, por debajo de ésta, la susceptibilidad es función del campo aplicado y de la historia de la muestra, y por lo tanto no se puede expresar por una función de estado del tipo de la paramagnética. Experimentalmente el valor de  $\theta$  que da el mejor ajuste es conocido como la temperatura paramagnética de Curie, y es ligeramente

mayor que la temperatura real de transición efectiva entre el comportamiento paramagnético y ferromagnético (7).

El alineamiento de espines ocurre dentro de dominios, siendo éstos los que se orientan en el campo magnético aplicado y pueden seguir orientados al desaparecer éste. El movimiento de límites entre dominios en respuesta a un campo magnético externo produce el familiar lazo no lineal de histéresis, característico de los materiales ferromagnéticos. La fig. 5 muestra el comportamiento y orientación de los dipolos en dominios y entre átomos (6).

#### ANTIFERROMAGNETISMO :

Ciertos óxidos de materiales ferromagnéticos, tienen interacciones de spin tal que todos los espines están alineados, pero los spin adyacentes están orientados antiparalelamente mientras que los spin sobre átomos alternos son paralelos. En estos materiales el campo interno es negativo de forma que  $\theta$  es negativa en la ley de Curie - Weiss y la susceptibilidad se convierte en:

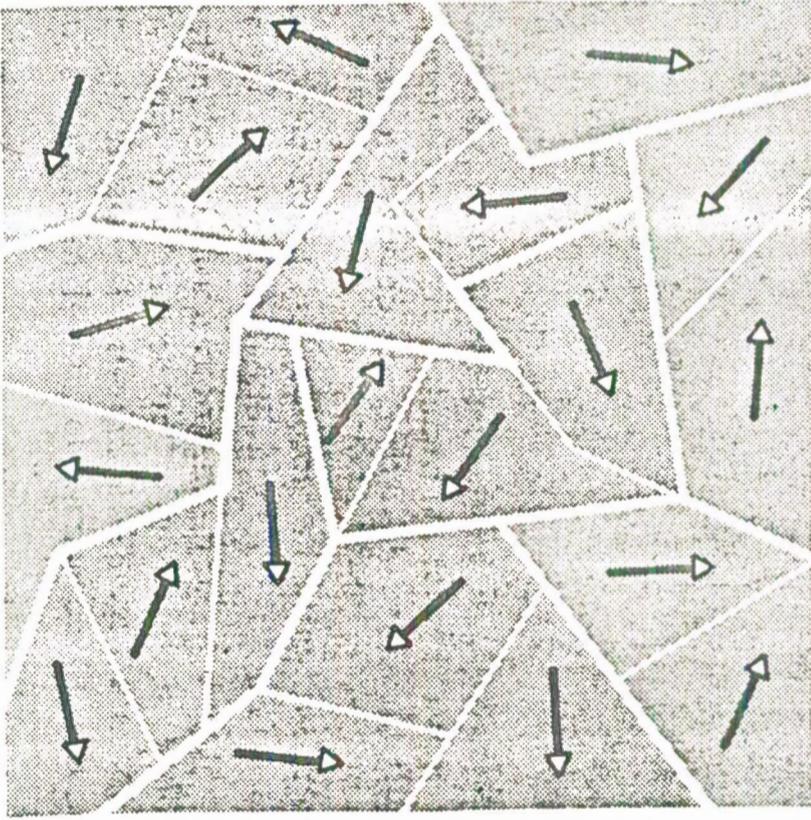
$$X = C/(T + \theta) \quad \text{Ec.3.22 (9)}$$

Donde  $\theta = -\lambda C$ .

Como en una sustancia en el estado antiferromag-



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



Fig#5. Orientación de los dipolos magnéticos en cristales y en sus dominios para un espécimen ferromagnético policristalino. Los límites gruesos definen los cristales y los delgados los dominios dentro de los cristales. (7).

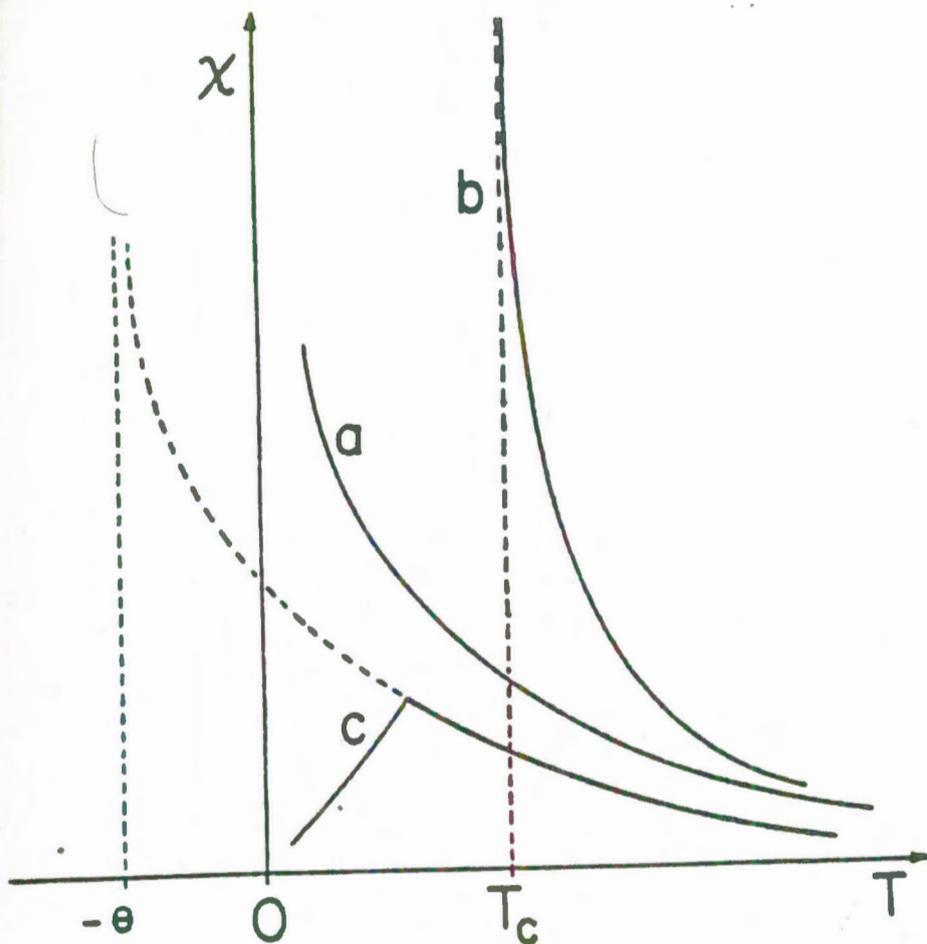
nético, los espines están orientados antiparalelos dentro de dominios, al ordenarse éstos a temperatura decreciente la magnetización disminuye, por tanto ésta presenta un máximo, por encima del cual deja de actuar el acoplamiento por intercambio y el material se vuelve paramagnético, esto sucede por encima de una temperatura llamada temperatura Neel ( $T_n$ ). En la fig. 6 se observa e comportamiento típico de las sustancias: - a) que siguen la ley de Curie (paramagneticas), b) ferromagnéticas, y c) antiferromagnéticas, - (7).

#### FERRIMAGNETISMO :

En sustancias como las ferritas de hierro, hay dos clases de iones magnéticos que son el  $Fe^{+2}$  y el  $Fe^{+3}$ , donde el acoplamiento por intercambio - entrelaza los iones en un patrón en el cual los efectos externos son intermedios entre el ferromagnetismo y el antiferromagnetismo; es lo que - se conoce como ferrimagnetismo. El acoplamiento por intercambio desaparece si se calienta el material más arriba de cierta temperatura característica. El ferrimagnetismo se puede encontrar - en una sustancia ordinariamente antiferromagnética debido a defectos o impurezas. La fig.7 muestra la orientación de los dipolos magnéticos ele



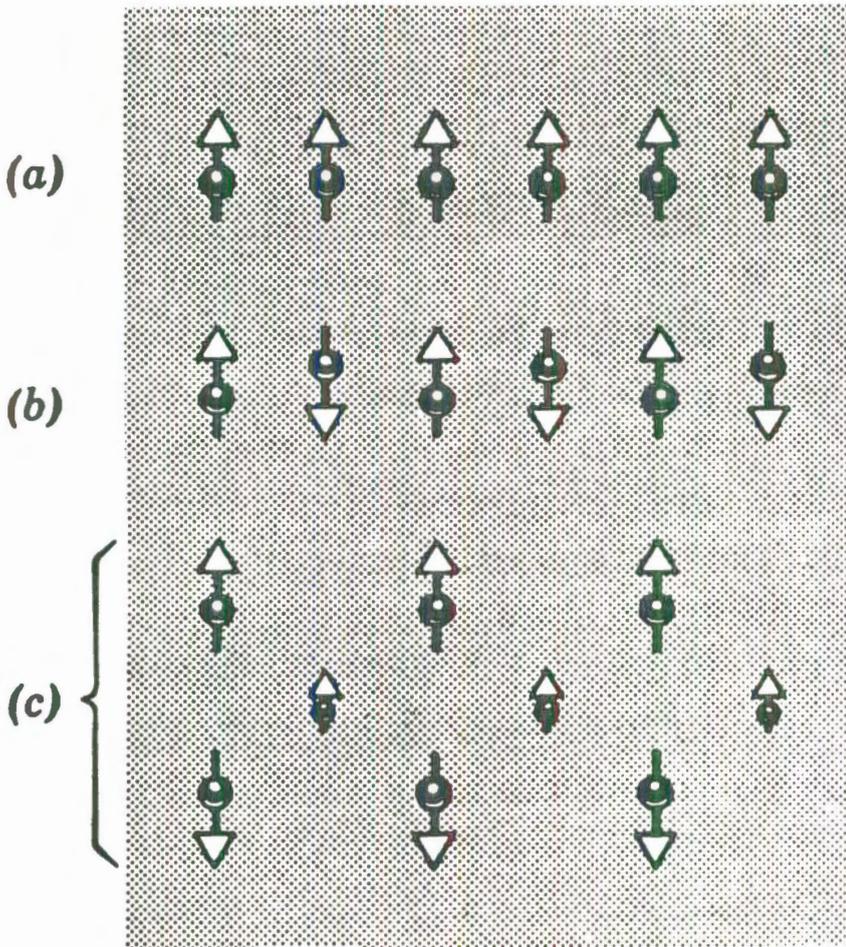
BIBLIOTECA  
ESPOL



$\chi$  : Susceptibilidad magnética del material.

$T$  : Temperatura absoluta.

Fig#6. Comportamiento magnético típico de las sustancias  
 a) que siguen la ley de Curie (paramagnéticas);  
 b) ferromagnéticas, y c) antiferromagnéticas.(7).



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig#7. Orientación de los dipolos magnéticos elementales mediante el acoplamiento por intercambio interatómico en a) ferromagnetismo, b) antiferromagnetismo y c) ferrimagnetismo (7).

mentales mediante el intercambio interatómico en los casos de a) ferromagnetismo, b) antiferromagnetismo, y c) ferrimagnetismo (6).

### 3.2.2 PROPIEDADES MAGNETICAS EN LOS MINERALES :

Hay varias razones por las que no es posible - construir una tabla adecuada de susceptibilidades magnéticas, ya que  $X$  es independiente de  $H$  - solamente si  $M$  es una función lineal de  $H$  ; ésta relación se mantiene sólo en casos de diamagnetismo puro o paramagnetismo puro, en el caso de sustancias ferromagnéticas es bien conocida la relación no lineal de  $M$  o  $B$  a  $H$  . En materiales ferromagnéticos, la susceptibilidad depende de - la historia de la muestra, el calor y el tratamiento mecánico; en el bien conocido fenómeno de histéresis la magnetización de la muestra depende no sólo de  $H$  sino de los estados previos de magnetización. La situación se complica con los minerales por las variaciones en composición que pueden ocurrir , como sustitución isomórfica de un elemento por otro o variación de la estricta estequiometría; esto puede cambiar un mineral ferromagnético de baja susceptibilidad a un material fuertemente ferrimagnético . Ciertos materiales pueden transformarse de antiferromagnéticos a ferromagnéticos a una intensidad de campo crí-



BIBLIOTECA  
ESPAÑA

tica, dando un incremento abrupto de la intensidad de magnetización, comportamiento que se conoce como metamagnetismo (9).

Sin embargo para minerales diamagnéticos, o sea formados exclusivamente de iones diamagnéticos, la tabla I da valores de su susceptibilidad magnética. La susceptibilidad diamagnética molar de un compuesto puede ser aproximada sumando las contribuciones de los iones constituyentes. La tabla II, da una recopilación de la susceptibilidad específica de algunos minerales diamagnéticos (9).

Los minerales paramagnéticos son producidos de iones con spins electrónicos no apareados, más comúnmente son iones de la serie de primera transición; valores de su susceptibilidad se dan en la tabla III (9).

Para materiales ferromagnéticos, se tratará series minerales más que miembros puros ya que pequeños cambios en la composición pueden dar cambios significativos en las propiedades magnéticas. Como ejemplo tenemos: La serie  $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Fe}_2\text{TiO}_4$ , donde la magnetita es un material ferrimagnético con una temperatura Curie de  $585^\circ\text{C}$ ; en la saturación a  $20^\circ\text{C}$  tiene una magnetización especí

TABLA I

## SUSCEPTIBILIDADES DIAMAGNETICAS MOLARES DE IONES A 20°C (9)

ANIONES DIAMAGNETICOS  $-X (10^{-9} \text{ m}^3/\text{kmol})$ 

F <sup>-</sup>	140
Cl <sup>-</sup>	330
Br <sup>-</sup>	450
I <sup>-</sup>	650
O <sup>-2</sup>	150
S <sup>-2</sup>	480
OH <sup>-</sup>	150
NO <sup>-</sup>	250
CO <sup>--</sup>	430
SiO <sup>--</sup>	450
SO <sup>--</sup>	500
PO <sup>---</sup>	590

CATIONES DIAMAGNETICOS

Li <sup>+</sup>	8
Na <sup>+</sup>	70
K <sup>+</sup>	160
Cu <sup>+</sup>	150
Ag <sup>+</sup>	300
Au <sup>+</sup>	500
Mg <sup>++</sup>	40
Ca <sup>++</sup>	100
Sr <sup>++</sup>	190
Ba <sup>++</sup>	300
Zn <sup>++</sup>	130
Cd <sup>++</sup>	280
Hg <sup>++</sup>	460
Pb <sup>++</sup>	350

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## CATIONES DIAMAGNETICOS

 $-X (10^{-9} \text{ m}^3/\text{kmo1})$ 

B <sup>+++</sup>	3
Al <sup>+++</sup>	30
C <sup>4+</sup>	1
Si <sup>4+</sup>	20
Ti <sup>4+</sup>	60
Sn <sup>4+</sup>	200
N <sup>5+</sup>	1
P <sup>5+</sup>	10
V <sup>5+</sup>	50
S <sup>6+</sup>	10
Cr <sup>6+</sup>	40
Mo <sup>6+</sup>	90
W <sup>6+</sup>	160
V <sup>6+</sup>	240

## CATIONES PARAMAGNETICOS

(ESTIMADOS)

Mn <sup>++</sup>	180
Fe <sup>++</sup>	160
Co <sup>++</sup>	150
Ni <sup>++</sup>	140
Cu <sup>++</sup>	140
Fe <sup>+++</sup>	130
Mn <sup>+++</sup>	100

TABLA II

## SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA ESPECIFICA DE MINERALES DIAMAGNETICOS EN 20°C (9)

MINERAL	FORMULA QUIMICA	$-X_s(10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg})$
ELEMENTOS		
Diamante	C	6.17
Grafito	C	44
Azufre	-S	6.09
Cobre	Cu	1.080
Plata	Ag	2.41
Oro	Au	1.787
Bismuto	Bi	16.8
Sulfuros		
Esfalerita	ZnS	3.27
Molibdenita	MoS <sub>2</sub>	6.05
Argentita	Ag <sub>2</sub> S	3.71
Estibina	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	3.17
Cinabrio	HgS	2.99
Galena	PbS	4.40
Oxidos		
Agua	H <sub>2</sub> O	9.070
Corindón	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.80
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	6.20
Cuprita	Cu <sub>2</sub> O	1.76
Zincita	ZnO	4.29
Casiterita	SnO <sub>2</sub>	2.33

MINERAL	FORMULA QUIMICA	-Xs(10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup> /kg)
<b>HALUROS</b>		
Halita	NaCl	6.49
Silvita	KCl	6.54
Fluorita	CaF <sub>2</sub>	4.51
<b>CARBONATOS</b>		
Magnesita	MgCO <sub>3</sub>	4.83
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	4.80
Cerusita	PbCO <sub>3</sub>	2.88
<b>SULFATOS</b>		
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	4.47
Yeso	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	5.33
Smithsonita	ZnSO <sub>4</sub>	3.41
Barita	BaSO <sub>4</sub>	3.84
Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	2.89



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

TABLA III

SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA ESPECIFICA DE MINERALES PARAMAGNETICOS A 20°C (9)

MINERAL	FORMULA QUIMICA	$-X_s(10^{-6} \text{m}^3/\text{kg})$
SULFUROS		
Pirita	$\text{FeS}_2$	0.004-0.013
Marcasita	$\text{FeS}_2$	0.004-0.013
Milerita	$\text{NiS}$	0.003-0.048
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	0.011-0.055
Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	0.092-0.100
ARSENUROS		
Nicolita	$\text{NiAs}$	0.005-0.011
OXIDOS		
Goethita	$\text{FeOOH}$	0.38 -0.46
Manganita	$\text{MnOOH}$	0.36 -0.50
Branita	$\text{Mn}(\text{Mn}, \text{Si})\text{O}_3$	1.12 -2.25
Pirolusita	$\text{MnO}_2$	0.30 -0.48
Wolframita	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	0.40 -0.53
Cromita	$\text{FeCr}_2\text{O}_4$	0.32 -0.38
CARBONATOS		
Siderita	$\text{FeCO}_3$	1.06-1.30
Rodocrosita	$\text{MnCO}_3$	1.31-1.34

MINERAL	FORMULA QUIMICA	$-X_s(10^{-6} \text{m}^3/\text{kg})$
SILICATOS		
Olivino	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	0.11 -1.26
Ortopiroxeno	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$	0.04 -0.92
Clinopiroxeno	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{SiO}_3)_2$	0.08 -0.80
Anfibol	Silicato hidratado	0.08 -1.13
Biotia	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{11}$ .H <sub>2</sub> O	0.05 -0.98
Cordierita	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	0.08 -0.41
Granate	$(\text{Ca,Mg,Fe,Mn})_3(\text{Al,Fe,Cr})_2(\text{SiO}_4)_3$	0.14 -0.95
Rodocrosita	$(\text{Mn,Ca})\text{SiO}_3$	0.67 -1.10
Dioptase	$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.106-0.111
Garnierita	$(\text{Ni,Mg})\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.38 -0.39



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

fica de  $92 \text{ A.m}^2/\text{kg}$ , y una inducción intrínseca - de 0.6 tesla, fig. 8 y 9 (9).

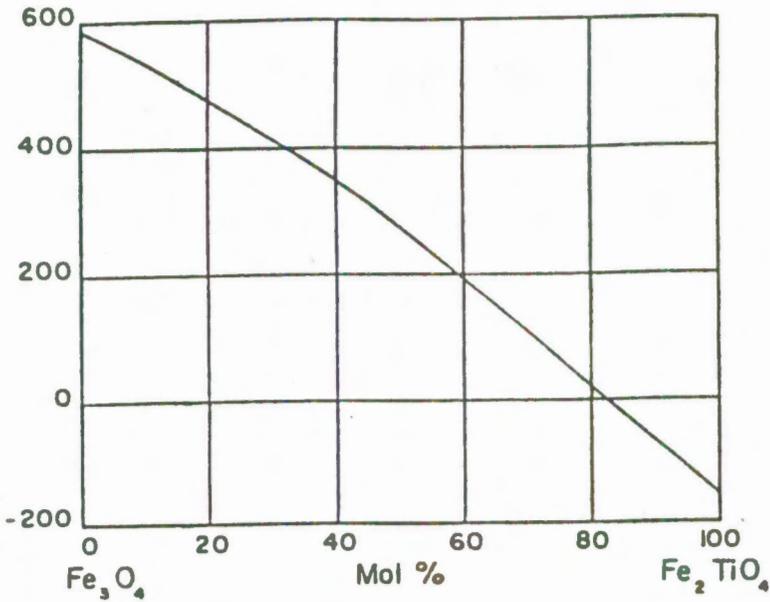
### 3.3 TIPOS DE SEPARADORES MAGNETICOS :

Los separadores magnéticos son clasificados comúnmente en dos grupos: separadores magnéticos por vía seca y - separadores magnéticos por vía húmeda, según se use agua o no en su funcionamiento.

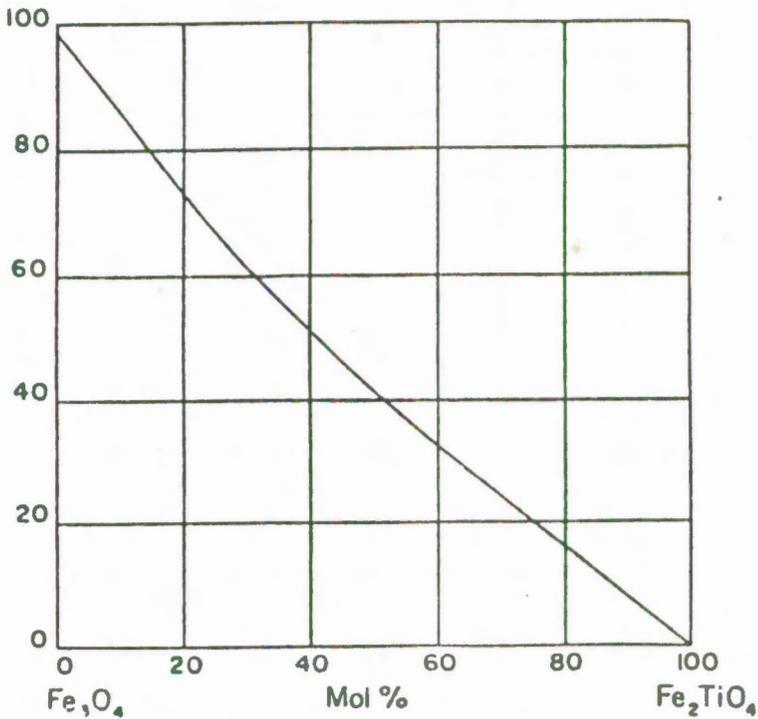
De acuerdo a la resistencia magnética relativa del separador, se clasifican en separadores magnéticos por - vía seca de alta y baja intensidad, y en separadores - magnéticos por vía húmeda de alta y baja intensidad. En los de baja intensidad de campo, la misma llega hasta 0.2 tesla (2000 gauss) y son usados principalmente para materiales ferromagnéticos o para materiales paramagnéticos con susceptibilidad magnética alta. Los de alta intensidad tienen campos de hasta 2 tesla (veinte mil gauss) .Se puede clasificarlos más detallada - mente basándose en el principio de operación o de - construcción, del aparato (9).

En la industria mineral los separadores magnéticos - son aplicados en tres propósitos principalmente: -

- Separar mineral magnético,
- Sacar hierro entrampado, y
- Concentrar minerales o metales.



Fig#8. Variación de la temperatura Curie con la composición para titanomagnetitas. (9)



Fig#9. Relación de saturación de la magnetización específica a 0°k a la composición para titanomagnetitas (9)

Los separadores para sacar hierro entrampado, son usados en la industria del papel, química, alimenticia, minera, acero, imprenta, etc, entre otras (9).

Entre los separadores usados comúnmente para concentración de minerales tenemos: poleas magnéticas "ore", cilindros magnéticos, separadores magnéticos de cilindro inducido, separadores magnéticos de cinta transversal y tipo campana, entre otros; éstos serán tratados aquí brevemente.

#### POLEAS MAGNETICAS "ORE" :

Son usadas para concentrar minerales ferromagnéticos, tales como menas de magnetita y níquel (9).

#### CILINDROS MAGNETICOS :

Los cilindros magnéticos de polo axial son también usados para concentrar minerales ferromagnéticos y se presentan en diseños de imán permanente y electromagnético, con un arco magnético de cobertura variable. El número de polos dentro del arco dado es también variable los diámetros de los cilindros de polo axial, van de las 18 a 48 pulgadas . Los diámetros de las partículas a ser tratadas influyen en el cilindro seleccionado; el material de alimentación de hasta 1 pulg. de diámetro puede ser sucesivamente tratado sobre cilindros con polaridad alternante. La polaridad alternante del polo -

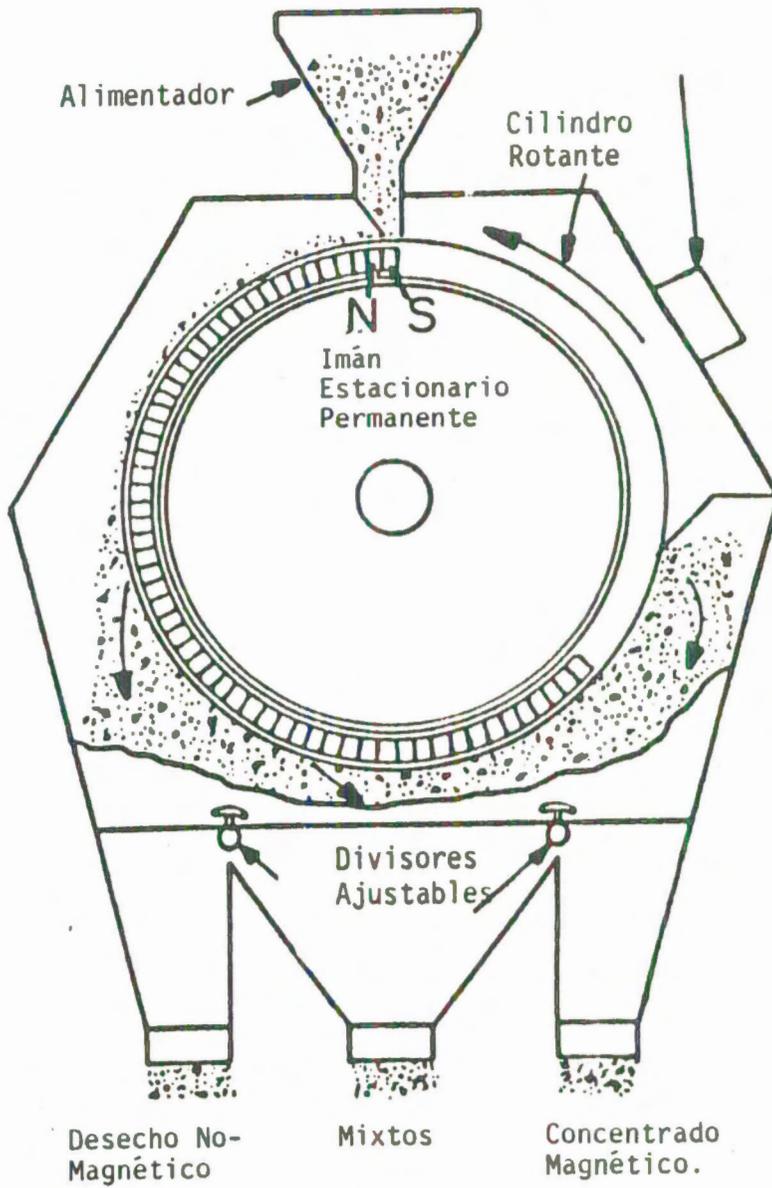
axial produce considerable agitación de las partículas al atravesar ellas el arco magnético, produciendo un concentrado magnético muy limpio dado el caso. La velocidad del cilindro puede variar, siendo baja si va de 20-45 rpm ó alta si es de 200 rpm. El principio de operación de este aparato es ilustrado en la figura 10(9)

### SEPARADORES MAGNETICOS DE ALTA INTENSIDAD DE CINTA

#### TRANSVERSAL :

Son útiles en la concentración de minerales débilmente magnéticos como ilmenita, monacita, granate, cromita, columbita, tantalita, y wolframita.

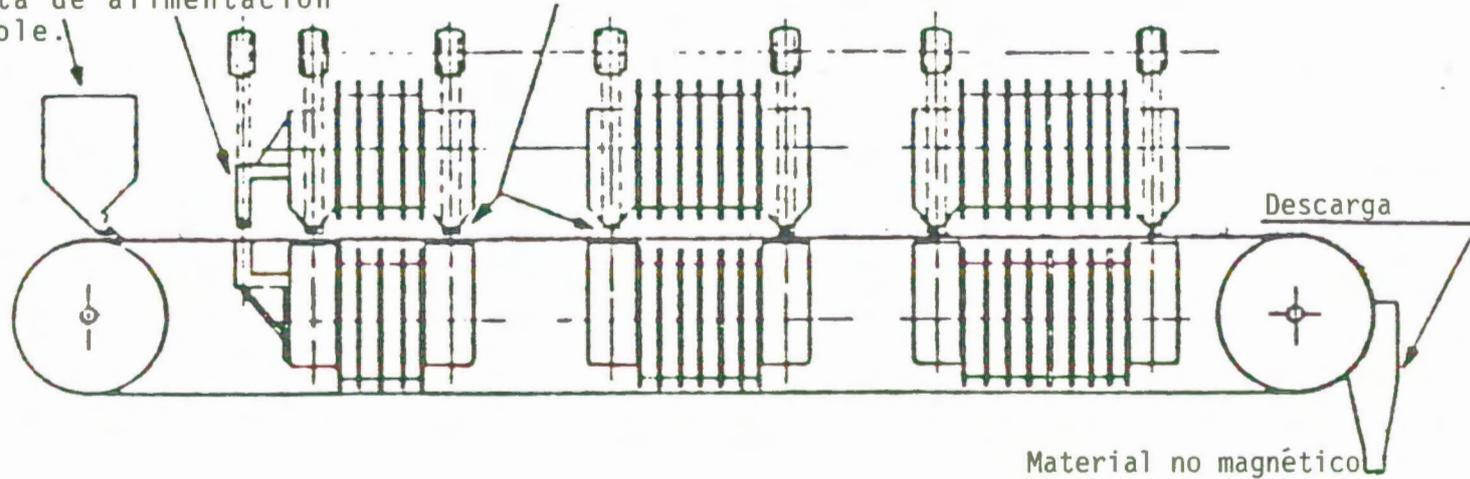
La alimentación es introducida en una delgada capa sobre la cinta transversal de alimentación y se mueve en un campo magnético de alta intensidad creado por bobinas electromagnéticas; la cinta transporta esto hasta un punto de descarga adecuado. Como en estas máquinas los espacios magnéticos son progresivamente más pequeños, la mayor parte de los minerales débilmente magnéticos son recuperados en el último polo. Este separador es muy selectivo en la acción magnética y es capaz de producir concentrados magnéticos muy limpios; es diseñado con cintas de alimentación de anchos de hasta 24 pulg. y con capacidad de alimentación de un rango de 50 a 150 lbs/h/pulg.. La cinta de alimentación y la cinta transversal tienen velocidad variable, fig 11(9)



Fig#10. Cilindro magnético de polo axial tipo agitador (9)

Alimentador con control  
de rata de alimentación  
variable.

Cinta transversal



Fig#11. Separador magnético de cinta transversal (9).

### SEPARADORES MAGNETICOS TIPO CAMPANA :

Son usualmente construidos para concentrar minerales débilmente magnéticos. Se diferencian de los de cinta transversal en que llevan una campana de acero magnetizada que sustituye la cinta transversal (9).

En algunas aplicaciones el separador de campana puede producir una separación superior, ya que el espacio de aire puede ser reducido tanto, lo que no sería posible con el tipo anterior de separador; fig.12 (9).

### SEPARADORES MAGNETICOS DE CILINDRO INDUCIDO :

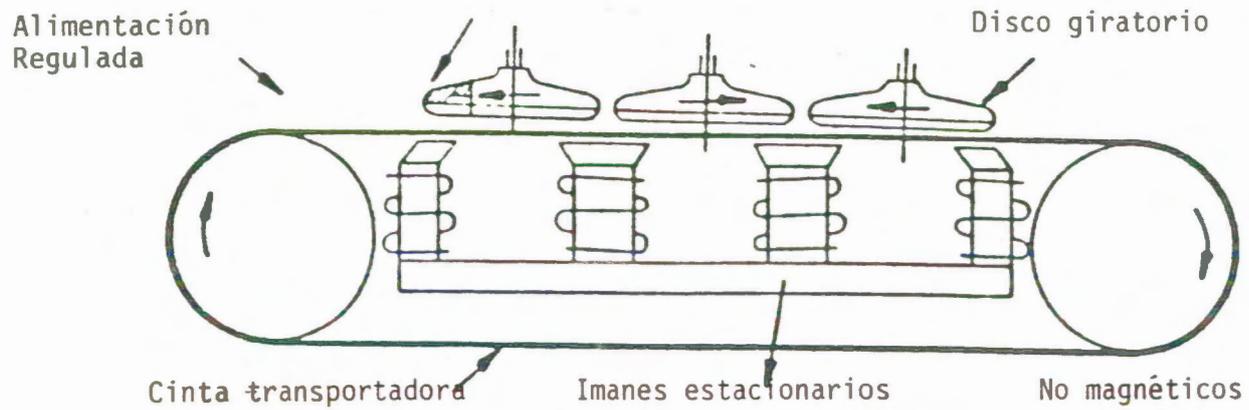
Los separadores magnéticos de cilindro inducido desarrollan campos magnéticos de alta intensidad y son capaces de sacar partículas que no responderían a otros tipos más comunes de separador (9).

El rotor magnético posicionado entre los dos polos magnéticos es de construcción laminada; éstas láminas son alternadamente de acero de bajo contenido de carbón y, de un material no magnético tal como aluminio o cobre.

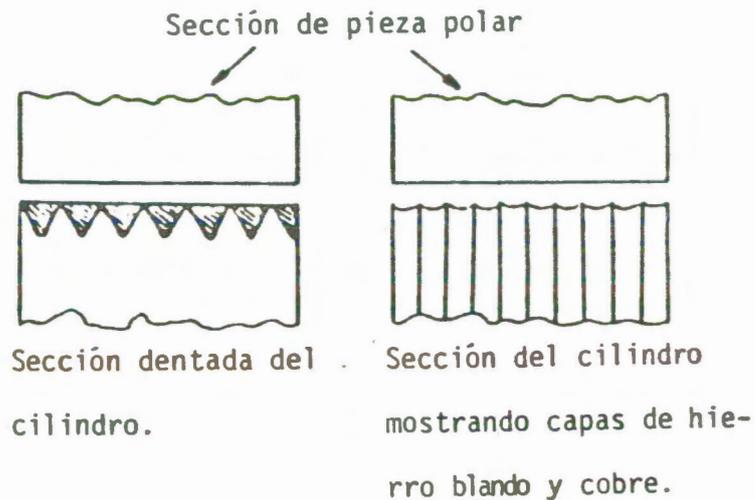
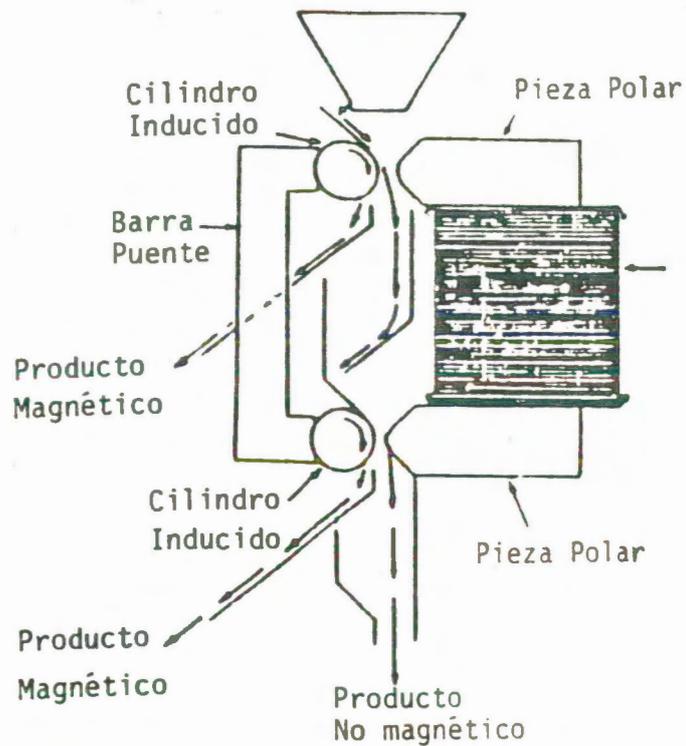
El separador de cilindro inducido es normalmente operado con un muy pequeño espacio de aire, y por esto está limitado al tratamiento de material más fino de 10 mallas. La intensidad de campo en el espacio normal de aire de 3/16 de pulg. es de cerca de 1.85 tesla. La figura 13 muestra este tipo de separador (9).



BIBLIOTECA  
ESPAÑA



Fig#12. Separador magnético tipo campana (9).



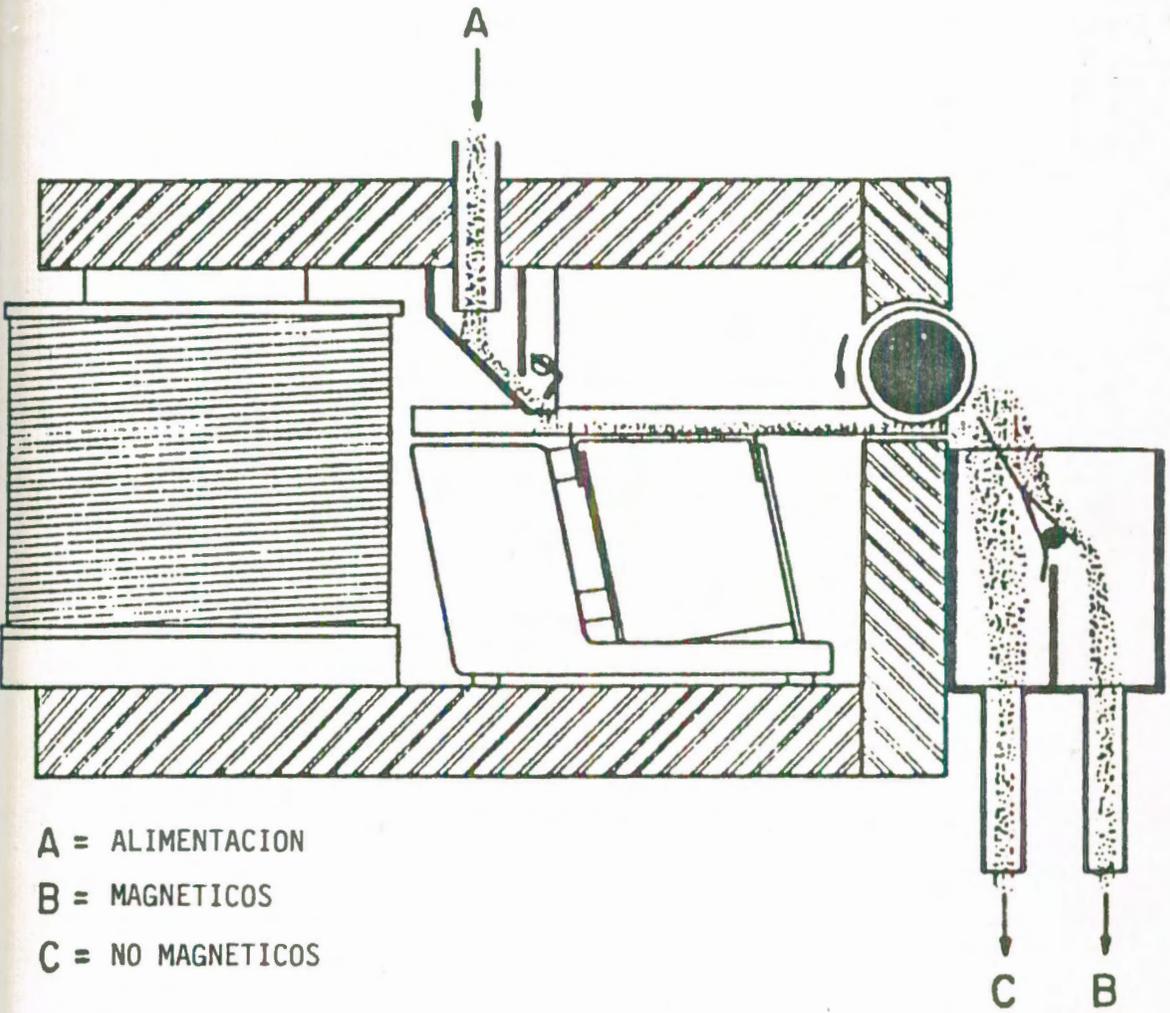
**Fig#13. Separador magnético de cilindro inducido, y construcción típica de un rotor.**

Estos separadores son usados para sacar contaminación de hierro, de arenas silíceas, feldezpato, barita, "fire-clay", y varios productos minerales refractarios. También son usados para concentrar minerales débilmente magnéticos como ilmenita, monacita, cromita, granate, wolframita, (9).

Otro tipo de separador magnético de cilindro inducido es el de tipo "elevador"; en este separador se pone el extremo de una cazuela vibrante en el espacio de aire, entre el polo y el cilindro, siendo alimentado por la parte inferior del cilindro, el mismo que está construido con un perfil tipo diente de forma que desarrolla fuertes fuerzas magnéticas en esos puntos. La acción tipo "elevador" produce una separación selectiva de los minerales con un muy bajo acarreo de partículas no magnéticas, dando como consecuencia una separación muy aguda (9).

El ancho de la alimentación disponible para este separador permite una alta capacidad por máquina a un bajo costo por unidad, fig.14 (9).

Puede haber separadores de cilindro inducido de hasta siete cilindros en serie. Los diámetros de los cilindros varían de 2 7/16 a 5 pulg. En algunas unidades es posible controlar la distribución del producto de forma que el producto magnético o el no magnético sea tratado sobre cilindros sucesivos. La capacidad de alimen



A = ALIMENTACION  
B = MAGNETICOS  
C = NO MAGNETICOS

Fig#14. Separador magnético de cilindro inducido tipo elevador.

tación de estos separadores variará con la aplicación pero usualmente es de 100 a 200 lbs/h/pulg de ancho de el cilindro; hay separadores que tienen hasta 72 pulg. de ancho de campo disponibles (9).



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## CAPITULO # 4

### SEPARADOR MAGNETICO DE CILINDRO INDUCIDO

#### 4.1 FUNCIONAMIENTO DEL APARATO :

El modelo MIH(13)111-5, es un separador magnético de alta intensidad por vía seca, de alimentación superior, diseñado para separar materiales moderada o débilmente paramagnéticos (3).

Este aparato consta de una consola diseñada para que el operador pueda fácilmente observar y controlar la operación simultáneamente (3).

En su parte externa consta de un sistema de alimentación equipado con un mecanismo de compuerta gravitatoria ajustable. Consta también de un cilindro separador que tiene 127 mm (5 pulg.) de diámetro por 50 mm (2 pulg) de ancho y está construido de materiales magnéticos y no magnéticos dispuestos en forma laminada (3).

Tiene un sistema de recolección de muestras con dos laminas metálicas que sirven de separación de los productos magnéticos, mixtos y no magnéticos. Consta de los controles de encendido-apagado, control de velocidad del cilindro y, control de la corriente, mediante un amperímetro DC de 0 a 4 amperios (3).



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

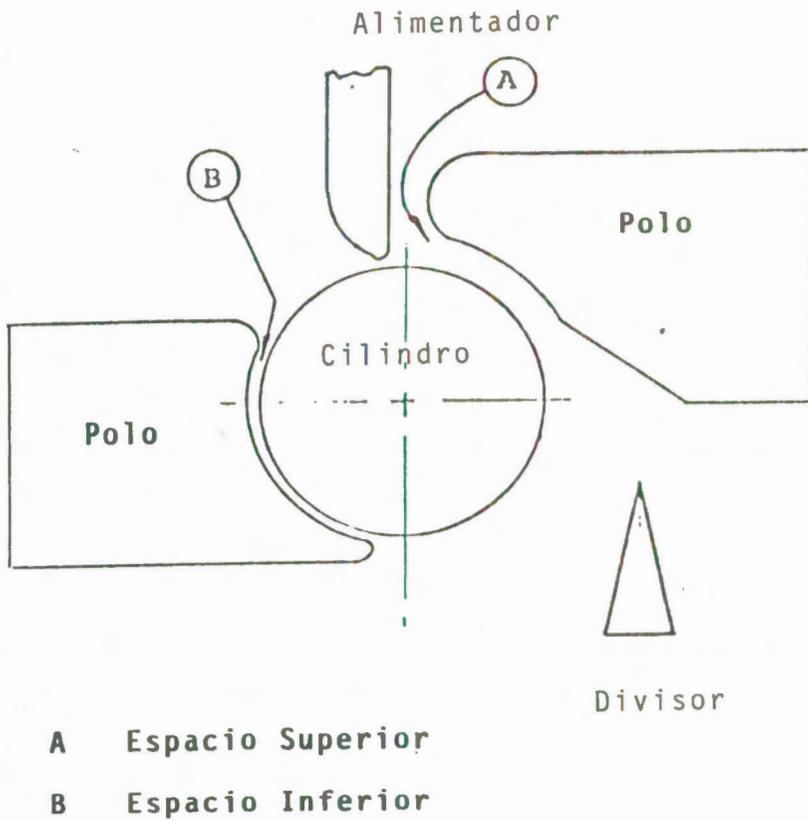
Internamente consta de un motor de 1/4 de caballo de fuerza que permite girar un cilindro a una velocidad variable, de 0 a 500 rpm, aproximadamente. También tiene instalados circuitos disyuntores, en los circuitos de mayor potencia, para la protección de los componentes asociados. Se puede fácilmente llegar a ellos sobre el panel frontal y se pueden sacar manualmente si ocurre una condición de sobrecorriente (3).

El tratamiento de partículas puede variar desde 6 mm. (3 mallas) hasta 0.074 mm. (200 mallas) dependiendo de la forma de la partícula, densidad y susceptibilidad magnética. La capacidad promedio de este modelo es de aproximadamente 100 kg/h/cm (220 lbs/h/pulg.), basada sobre un material que tenga una densidad global de 1600 kg/m<sup>3</sup> (100 lbs/pie<sup>3</sup>) (3). Para nuestro caso la capacidad es 2.9 veces mayor por tratarse de un material con densidad de 4.7 g/cm<sup>3</sup>.

La figura # 15 nos muestra el esquema de funcionamiento del separador.

Para el funcionamiento del separador, se deben realizar una serie de ajustes en el aparato, como:

- 1.- Ajuste de los espacios de adelante y atrás, entre el cilindro y los polos magnéticos. En nuestro caso son de 9 y 2 mm. respectivamente.



Fig#15. Esquema de funcionamiento del separador magnético de cilindro inducido.

- 2.- Ajuste de la velocidad de rotación del cilindro, - la misma que es controlada por medio de un control de velocidad variable que va de 0 a 120 medidas. Con un tacómetro 1531 AB "Strobotac General Radio" se obtuvo las revoluciones por minuto correspondientes a estas medidas; una lista de ellas se da en la tabla # 4.
- 3.- Ajuste de la Rata de alimentación, para lo cual se verifica que la compuerta de alimentación tipo guillotina esté completamente cerrada. Asegurándose que la corriente esta apagada se pone una carga de muestra en el alimentador, y se revisa que no exista fugas en el mismo, moviendo la manija de la compuerta de alimentación, luego se obtiene una capa laminar de material, abriendo el botón de la guillotina de la compuerta de alimentación. Por último se mide el peso de la muestra que cae en 10 segundos, este peso en gramos se multiplica por el factor 0.529 para obtener el resultado en lbs/h/ pulg. o sino nos referimos al Apéndice III del Manual de operación del separador, donde está "La carta de conversión de la rata de alimentación". Se repite este paso hasta obtener la rata deseada (3).
- 4.- Ajuste de los divisores, recargando el material en el alimentador, y mientras el material fluye, a una velocidad de cilindro determinada, con una corrien



BIBLIOTECA FIC

7500

te apagada, se ajusta el divisor interno de modo -  
que todo el material pase justo sobre el divisor -  
interno hasta el producto no magnético (3).

- 5.- Ajuste de la corriente de campo magnético; se gira primeramente el control de velocidad del cilindro, con esto se evita que haya un corto circuito. Luego se gira el control de la corriente magnética - hasta el ajuste deseado, en forma lenta y gradual. El circuito magnético está saturado a los 3 amperios y por tanto la corriente no debe ser más alta que esto. La velocidad del cilindro puede variar - con la corriente, por eso se debe verificar este ajuste. Previamente se debe calentar el separador, antes de la prueba definitiva (3).

#### 4.2 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DEL SEPARADOR;

Las variables estudiadas aquí son las mismas que los - parámetros que influyen en su funcionamiento, aunque unas son más determinantes que otras; éstas son:

##### 4.2.1 RATA DE ALIMENTACION :

Esta variable influye en la cantidad de material a ser tratado y se estima que entre mayor es la rata de alimentación del aparato disminuye su eficiencia pero aumenta la capacidad del separador; pues ésta determina un enlace entre el grado de concentración del producto y el rendimiento -

de la planta. Hay que tener en cuenta que a tasas de alimentación altas la interacción física entre partículas se hace significativa. Sin embargo se debe obtener la tasa de alimentación mínima para obtener una máxima capacidad del separador sin que disminuya su eficiencia (9).

#### 4.2.2 POSICION DE LOS DIVISORES :

Esta posición debe ser fijada mediante la experimentación de modo que exista una separación efectiva entre los productos magnéticos, mixtos y no magnéticos; esto afecta la calidad de la recuperación.

#### 4.2.3 VELOCIDAD DE ROTACION DEL CILINDRO :

Este parámetro controla la fuerza centrífuga que experimenta la partícula, por tanto a mayor velocidad del cilindro, mayor será el desplazamiento de la partícula desde la superficie del cilindro.

#### 4.2.4 CORRIENTE DE CAMPO :

Este parámetro controla la fuerza magnética ejercida sobre las partículas de modo que a mayor corriente de campo mayor cantidad de partículas quedaran retenidas sobre la superficie del cilindro y serán llevadas al producto magnético, dependiendo esto de la susceptibilidad magnética de

cada partícula.

#### 4.2.5 TAMAÑO DE GRANO :

Se ha determinado que la eficiencia de la separación disminuye cuando el tamaño de grano cae bajo las 50 micras (mayor de las 270 mallas). Pues para tamaños de grano muy finos las partículas tienden a adherirse unas a otras y a las partes de la máquina debido a fuerzas electrostáticas y otras fuerzas adhesivas (9).

#### 4.2.6 ESPACIO ENTRE LOS POLOS Y EL CILINDRO :

Esta variable limita en cierta medida el tamaño de grano a tratarse e influye en el campo magnético producido. Se trata del espacio de aire que queda entre el cilindro y los polos magnéticos de la máquina, por donde pasa el material recibiendo la influencia de las fuerzas magnéticas y gravitacionales correspondientes.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

TABLA IV

VELOCIDAD DE ROTACION DEL CILINDRO DEL SEPARADOR MAGNETICO  
DE CILINDRO INDUCIDO

La medición se efectuó con un tacómetro "Strobotac General Radio" 1531 AB en la escala 110-690 rpm.

Medida en el control	R.P.M	R.P.M Promedio
120	509 - 505	506 + 5
115	489 - 487	488 <u>+</u> 4
110	463 - 460	462 <u>+</u> 4
95	418 - 413	416 <u>+</u> 4
90	369 - 361	365 <u>+</u> 4
85	346 - 339	343 <u>+</u> 4
80	324 - 314	319 <u>+</u> 4
75	304 - 295	300 <u>+</u> 4
70	280 - 269	275 <u>+</u> 4
65	257 - 247	252 <u>+</u> 4
60	235 - 223	229 <u>+</u> 4
55	215 - 204	210 <u>+</u> 4
50	180 - 175	178 <u>+</u> 4
45	161 - 157	159 <u>+</u> 4
40	145 - 137	141 <u>+</u> 4
30*	95 - 94	
25*	78	
20*	57	
15*	38	
10*	23	
5*	5	

\* Mediciones hechas manualmente con cronómetro

## CAPITULO # 5

### MINERALOGIA DE LOS CONCENTRADOS

#### 5.1 COMPOSICION DEL CONCENTRADO :

El concentrado utilizado es una arena negra, pesada com puesta principalmente de cuarzo, magnetita e ilmenita.

En el capítulo #2 se expuso como se obtuvo esta arena, resultado de la concentración en canalones y luego en bateas de material extraído de trincheras excavadas en las riberas del río Paute. Su densidad es de 4.754 g/cm<sup>3</sup> la misma que se obtuvo de la diferencia de pesos - de la arena en el agua y en el aire.

La arena se la tamizó dando origen a cinco fracciones, en la tabla V se presentan los resultados del exámen - de la muestra cuarteada, bajo el estereomicroscopio pa ra cada fracción de tamaño de grano.

#### 5.2 RANGO GRANULOMETRICO DEL CONCENTRADO :

La tabla VI y la figura #17 muestran los cálculos y - la curva del análisis granulométrico correspondiente. La curva presenta una pequeña variación en el tamaño - de grano, encontrándose más del 60% de la muestra en - tre las mallas <50 y >100 o sea entre las 300 y 149u.

### 5.3 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DEL ORO EN LOS CONCENTRADOS

Los resultados del histograma muestran que el mayor porcentaje en peso de oro, es grueso, o sea mayor de 40 mallas (65%). Estos resultados se presentan en la tabla VII y en la figura #18. La fracción 40-70 mallas (420-210 micras) tiene también un gran porcentaje de oro de alrededor de un 20%.

### 5.4 DETERMINACION DEL TENOR DE ORO DE LOS CONCENTRADOS:

Esta ley se determinó en la práctica, mediante la concentración primero en canalones y luego en bateas de muestras de arena con oro naturales.

El valor de esta ley es de 210 g de oro por metro cúbico, obtenido a partir de un metro cúbico de material, con una ley promedio de grava aurífera de 0.21g de Au, luego se redujo este material en canalones a 100lts o sea  $0.1 \text{ m}^3$  de concentrado; el oro se habría concentrado a  $2.1\text{g}/\text{m}^3$  de concentrado; al ser concentrado nuevamente el oro, ahora en bateas hasta 1 lt de concentrado es decir  $0.01 \text{ m}^3$  de material, la nueva ley sería de 210g de oro por metro cúbico de concentrado.

En la realidad se utilizó para mejor manejo de las pruebas, una ley aproximadamente igual al doble de la real es decir  $500 \text{ g}/\text{m}^3$ .

**TABLA V**  
**COMPOSICION DEL CONCENTRADO DE ARENA EN PORCENTAJE**

FRACCION PESO		MINERALES %				
(mm)	(g)	MAGNETITA	ILMENITA	CUARZO	FRAG.DE Rx	OTROS
2.3-0.59	1	20	5	25	50	-
0.59-0.3	1	40	33	18	5	-
0.3-0.15	1	55	24	18	2	1
0.1-0.075	1	55	13	30	-	2

**Descripción:**

**Magnetita:** Granos subredondeados a redondeados de color negro brillante, submetálico y mate de hábito isométrico.

**Ilmenita:** Granos subangulares a subredondeados de brillo submetálico y superficie más erosionada.

**Cuarzo:** Granos cristalinos de bordes agudos; subangular e incoloro; granos de color blanco lechoso, subangular a subredondeado, irregulares.

**Fragmentos de Roca:** Generamente metamórficos.

**Otros:** Como granates, zircón y rutilo.

TABLA VI

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CONCENTRADO DEL RÍO PAUTE

(SECTOR MENDEZ)

TAMIZ #	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
8	2	2	0.07	99.93
30	39	41	1.43	98.57
50	799	840	29.32	70.68
100	1559	2399	83.73	16.27
200	390	2789	97.35	2.65
Fondo	76	2865	100.00	0.00
Total	<u>2865</u>	<u>2865</u>		

Peso de la muestra : 2865 g.

Según este análisis el 80% del material corresponde a una arena de tamaño de grano fino.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

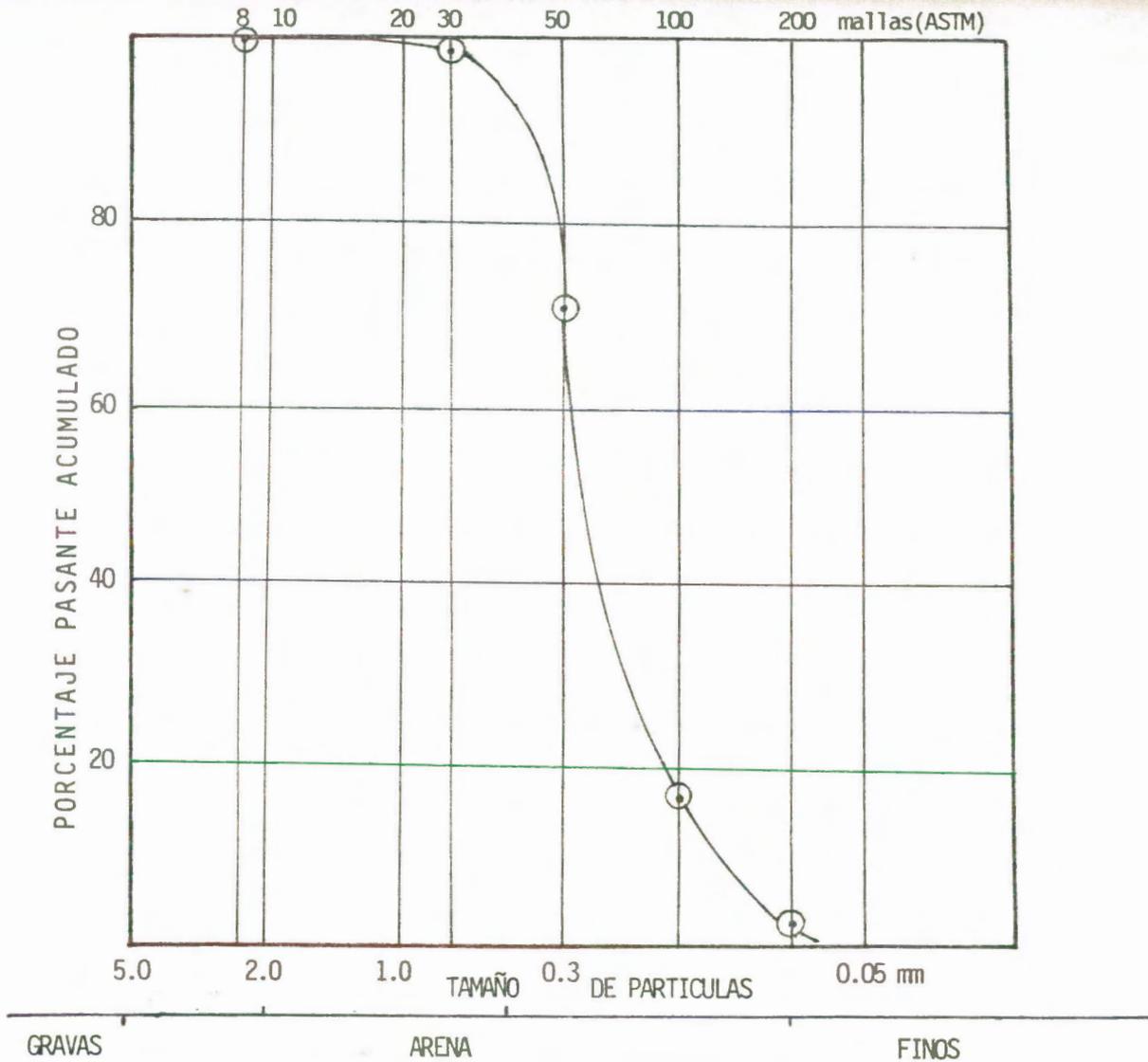


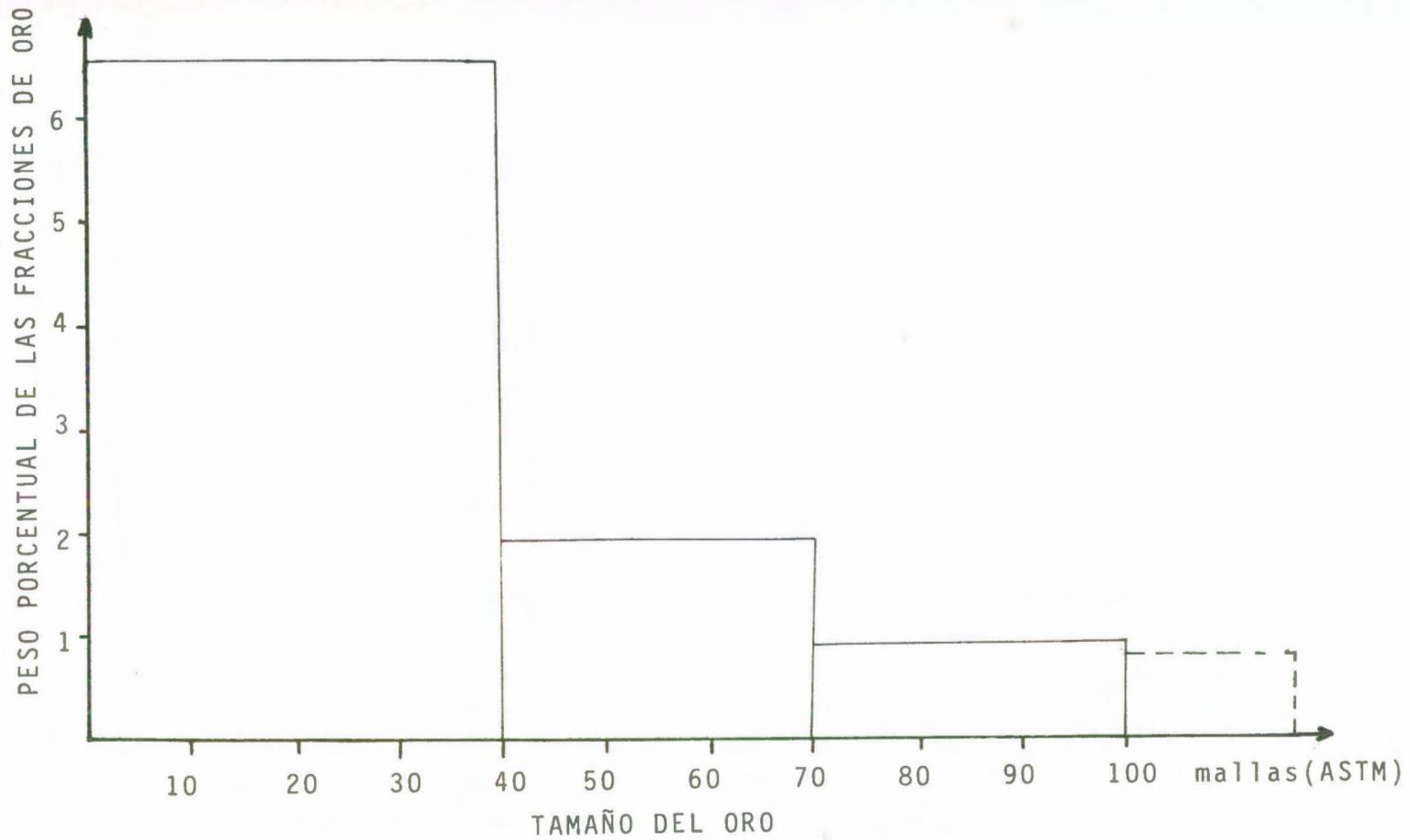
Fig #16. Curva granulométrica del concentrado de arena.

## TABLA VII

## HISTOGRAMA DEL ORO PROVENIENTE DEL RIO PAUTE

TAMIZ #(ASTM)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	% PESO RETENIDO
> 40	3.16	65.42
70	0.89	18.43
100	0.42	8.70
< 200	0.36	7.45

Estos datos fueron obtenidos del Informe que sobre las terrazas del río Paute hiciera el Ing. Hugo Eguez Alava, y cuya referencia se hace en la bibliografía.



Fig#1.7. Histograma de la distribución porcentual del oro.

BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**



## CAPITULO # 6

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 6.1 PREPARACION DE MUESTRAS :

a) El oro obtenido como se explicó en el capítulo # 2, fue tamizado en las siguientes fracciones:

Tamaño (mallas ASTM)	Tamaño (mm.)
> 30	> 0.595
30-40	0.595-0.420
40-70	0.420-0.210
70-100	0.210-0.149
100-200	0.149-0.074

b) El concentrado de arena libre de oro, fue preparado de la siguiente forma:

1.- Secado a 100 °C.

2.- Tamizado en las siguientes fracciones:

Tamaño (mallas ASTM)	Tamaño (mm.)
8-30	2.380-0.595
30-50	0.595-0.300
50-100	0.300-0.150
100-200	0.150-0.074

3.- Concentrado en batea con el fin de eliminar cualquier residuo de oro.

4.- Nuevo secado a 100 °C

5.- Almacenado en fundas plásticas debidamente rotuladas con el tamaño de grano correspondiente.

c) La cantidad de 300g de concentrado, se eligió como parámetro fijo para realizar las pruebas.

En la práctica, se da una ley de oro de  $210 \text{ g/m}^3$  de concentrado de batea, para una arena con densidad  $- 4.754 \text{ g/cm}^3$ , lo que corresponde a  $4.75 \text{ Ton/m}^3$ . De acuerdo a esta ley a 300 g de concentrado le corresponden 0.0132g de oro; una cantidad que en algunos casos era representada por una sola pinta, lo cual causaba dificultad en preparar las muestras, así como también inducía a un gran error en la recuperación final del oro tratado; debido a esto se elevó la ley a  $500 \text{ g/m}^3$  de concentrado, correspondiendo  $- 0.032 \text{ g.}$  de oro para los 300 g. de concentrado empleado. Una cantidad mayor a los 300 g de concentrado usado, haría más difícil la posterior recuperación del oro por microbateo o por amalgamación artesanal.

## 6.2 PREPARACION PARA LAS PRUEBAS :

Con el fin de estudiar en el separador varias variables al mismo tiempo, se determinó:

1.- Fijar inicialmente el espacio entre los polos magnéticos y el cilindro; en 9 mm y en 2 mm el espacio superior y el inferior respectivamente.



BIBLIOTECA F. I. ESPOL

2.- Preparar cinco fracciones de concentrado de arena y oro, entre los tamaños siguientes:

Concentrado de arena	Oro correspondiente
8 - 30 mallas	> 30 mallas
30 - 50 "	30 - 40 "
50 - 100 "	40 - 70 "
50 - 100 "	70 - 100 "
100 - 200 "	100 - 200 "

De esta forma se realizaron pruebas para cada rango de tamaño de grano, ajustando las demás variables como sigue:

a) A la rata de alimentación se le proporcionó tres valores de investigación:

100 lbs/h/pulg. equivalente a 300g/16s en el separador de laboratorio.

200 lbs/h/pulg. equivalente a 300g/8s en el separador de laboratorio.

317.2 lbs/h/pulg. equivalente a 300g/5s en el separador de laboratorio.

La forma como se realizó este ajuste, se explica más adelante.

b) A la velocidad de rotación del cilindro, que fue determinada por medio de un tacómetro, se le proporcionó los siguientes valores:

lectura 25 = 78 rpm

lectura 45 = 160  $\pm$  4 rpm .

lectura 55 =  $210 \pm 4$  rpm.

- c) La corriente de campo se fijó en 0.3 A ,un valor pequeño que sin embargo nos permite apreciar el efecto de la fuerza centrífuga.
- d) El movimiento de los divisores se graduaron mediante un transportador, tomando como eje el centro de cada uno de ellos, y como sentido positivo el sentido contrario a las manecillas del reloj. Se fijó el divisor interno en  $+5^\circ$  y el divisor externo en  $+30$  grados, con el objetivo de obtener un producto magnético lo más limpio posible, y los productos mixtos y no magnéticos lo más pequeños como sea posible.

La relación entre los productos magnéticos, mixtos y no magnéticos para un concentrado de 300g con 0.3 A de corriente es de aproximadamente 2/3 del concentrado en el producto magnético, y el otro tercio repartido entre los productos mixtos y no magnéticos, la tabla # 8 muestra esta distribución para distintos posiciones de los divisores.

De esta forma se realizaron 9 pruebas para cada rango de tamaño de grano, variando para el efecto, la velocidad del cilindro y la rata de alimentación, produciendo en total 45 pruebas, cuyos resultados se dan en las tablas X, XI, XII, XII y IVX.

TABLA VIII

DISTRIBUCION DEL CONCENTRADO DE ARENA PARA DISTINTAS POSICIONES DEL DIVISOR EXTERNO, EN LOS PRODUCTOS, MAGNETICO, MIXTO Y NO MAGNETICO

DIVISOR EXTERNO	VELOCIDAD DEL CILINDRO (rpm)	CORRIENTE A	CONCENTRADO (g)		
			Mg	Mx	NM
0°	160	0.0	40	260	<0.5
0°	210	0.0	26	274	<0.5
10°	160	0.0	29	271	0.5
10°	210	0.0	26	274	0.5
20°	160	0.3	202	93	5
20°	210	0.3	201	95	4
25°	160	0.3	202	64	34
25°	210	0.3	175	97	28
30°	160	0.3	199	34	67
30°	210	0.3	176	57	67
30°	160	0.3	203	29	68
30°	210	0.3	178	45	77
30°	210	0.5	203	59	38
30°	210	1.0	213	38	49

Divisor interno : +5°.



BIBLIOTECA FINANCIERA  
ESPOL

### 6.2.1 RECUPERACION DEL ORO :

La recuperación del oro se realizó, para el rango de 8 - 30 mallas, directamente por microbateo, y en la mayoría de los demás casos por amalgamación artesanal. En la amalgamación artesanal se procedió como sigue:

- 1.- Pesada de cada producto: magnético, mixto y no magnético.
- 2.- Concentración por bateo, para eliminar los minerales negros, más pesados y reducir la fracción.
- 3.- Preparación de la amalgama en un mortero, con Mercurio , detergente y agua destilada, durante 10 a 20 minutos.
- 4.- Elutriación en una probeta de 100cc, eliminando con esto la arena.
- 5.- Disolución de la amalgama en una solución al 12.5% de Acido nítrico (7 partes de agua, 1 parte de ácido nítrico); con calentamiento lento en una hornilla CORNING CP 35 a temperaturas inferiores a las de ebullición.
- 6.- Lavado del oro con agua destilada.
- 7.- Secado en un horno CHROMALOX a temperaturas de hasta 150°C.
- 8.- Pesada del oro en una balanza electrónica SARTORIUS con precisión de hasta 0.1mg.

### 6.2.2 AJUSTE DE LA RATA DE ALIMENTACION :

Para este ajuste se graduó la cabeza del tornillo - que regula la abertura de la compuerta de alimentaci<sub>ó</sub>n tipo guillotina. De forma que:

- a)  $100 \text{ lbs/h/pulg} = 189 \text{ g/10s}^* = 300\text{g}/16\text{s}$  2.5 vuel -  
tas del tornillo.
- b)  $200 \text{ lbs/h/pulg} = 378 \text{ g/10s}^* = 300\text{g}/8\text{s}$  3.5 vueltas  
del tornillo.
- c)  $317.2 \text{ lbs/h/pulg} = 600 \text{ g/10s}^* = 300 \text{ g}/5\text{s}$  4.5 vuel  
tas del tornillo.

Esto se cumple cuando la corriente es cero, cuando - ésta no es cero, se produce una imantación del ali - mentador que es metálico, debido al campo magnético producido, lo que ocasiona un retardo en el paso del material, obteniéndose una rata de alimentación me - nor que denominamos rata de alimentación efectiva re - al. Para 0.3 A de corriente tenemos que la rata de a - limentación efectiva es, para :

- a)  $100 \text{ lbs/h/pulg} = 65 \text{ lbs/h/pulg}$ , pues:  
2.5 vueltas = 300 g/24s
- b)  $200 \text{ lbs/h/pulg} = 135 \text{ lbs/h/pulg}$ , pues:  
3.5 vueltas = 300 g/12s
- c)  $317.2 \text{ lbs/h/pulg} = 225 \text{ lbs/h/pulg}$ , pues:  
4.5 vueltas = 300 g/7s .

Estos parámetros fueron medidos en el laboratorio pa

ra el material en estudio, antes de empezar las pruebas.

\* Tomado de la Carta de Conversión de la Rata de alimentación, donde la rata de alimentación del separador de laboratorio, está basada en 1.5 pulg(38.1 mm. ) de ancho efectivo de alimentación, o sea:  
 $100 \text{ lbs/h/pulg} = 189 \text{ g/10s/1.5 pulg.}$

### 6.3 PRUEBAS CON VARIACION DE LOS PARAMETROS :

#### 6.3.1 VARIACION DE LA TASA DE CONCENTRACION Y EL RENDIMIENTO EN FUNCION DE LA RATA DE ALIMENTACION, VELOCIDAD DEL CILINDRO Y EL TAMAÑO DE GRANO.

El material preparado (300g) se sometió a pruebas de concentración magnética, dejando constante la corriente en 0.3 A, debido a que con esta corriente en pruebas preliminares, se obtenía menos resistencia al flujo de la muestra y por tanto una rata de alimentación continua; pues el campo producido por corrientes más altas ocasiona que las partículas ferromagnéticas sean atraídas por los polos magnéticos del separador que dándose pegadas a éstos y a las partes metálicas del mismo a pesar del sistema de brocha que tiene éste en su parte inferior. Además por ser metálico el alimentador del aparato, éste se imanta ocasionando un retardo en el paso del mate -

rial y a veces un taponamiento en la salida de los minerales, del alimentador, dando origen a ratas de alimentación menores que cuando la corriente es cero.

Los divisores como ya se explicó en el capítulo previo, se fijaron en  $+5^\circ$ , el divisor interno y en  $+30^\circ$  el divisor externo; por último se procedió a realizar las pruebas a cinco fracciones de tamaño de grano, variando la velocidad de rotación del cilindro y la rata de alimentación, en los valores dados anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas X, XI, XII, XIII y IVX, y la explicación de las mismas se detalla más adelante.

La variación del rendimiento para cada producto de la concentración (magnético: Mg; mixto: Mx; no magnético : Nm) en función de la velocidad del cilindro, a una rata de alimentación dada y una corriente fija (0.3 A) y a su vez para cada tamaño de grano, se observa en las figuras # 19, 20, 21, 22 y 23.

Los valores de la tasa de concentración para cada producto del concentrado (Mg, Mx y Nm) en función de la rata de alimentación, para una corriente fija (0.3 A) y un valor dado de veloci-

dad del cilindro y para cada tamaño de grano, se dan graficados en las figuras # 24,25,26,27 y 28

Para una mejor comprensión del estudio, en el gráfico # 29 se muestra la variación de la tasa de concentración conjunta (Mx + Nm) y del rendimiento conjunto (Mx + Nm) promedio, para cada rata de alimentación y cada tamaño de grano.

OBTENCION DE LA RECUPERACION CORREGIDA DE ORO :

Debido a que la recuperación del oro de las muestras de estudio, se efectuó por medio de la amalgamación artesanal; un método preciso para oro medio y grueso (30-40 mallas y 40-70 mallas), se aceptaron errores de pérdida del oro de hasta el 10% del valor inicial, cuando se trataba de oro fino difícil de amalgamar. Se asumió entonces que ésta pérdida era proporcional a los valores de oro recuperados en cada producto (Mg, Mx y Nm) debido a un error sistemático en cada prueba, y se procedió como se explica en el siguiente ejemplo:

Para la prueba #38 del rango de tamaño de grano de 100-200 mallas :

Peso Au (g)	Recuperación Au (x 10 <sup>-4</sup> g)			Recuperación %			
	Mg	Mx	Nm	Mg	Mx	NM	Total
0.0327	6	12	290	1.83	3.67	88.68	94.18

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \text{Peso inicial de Au} - \text{Peso final del Au} \\ &= 0.0327 \text{ g} - 0.0308 \text{ g} \\ &= 0.0019 \text{ g de Au} \end{aligned}$$

Recuperación proporcional porcentual de Oro,  
(RPPAu) :

$$\text{RPPAu} = \frac{6 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0308 \text{ g}} \times 100 = 1.9\%$$

Entonces al producto magnético le corresponde el 1.9% del error cometido que es 0.0019 g.

$$0.0019 \text{ g} \times \frac{1.9}{100} = 0.0000361 \text{ g}.$$

Este valor agregado al valor original del oro recuperado en el producto magnético nos da la recuperación corregida de Au:

$$0.0006 \text{ g} + 0.00036 \text{ g} = 0.000636 \text{ g}.$$

Para el producto mixto y no magnético

$$\text{RPPAu} = \frac{12 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0308 \text{ g}} \times 100 = 3.9\%$$

$$0.0019 \text{ g} \times \frac{3.9}{100} = 0.000074 \text{ g}.$$

$$0.0012 \text{ g} + 0.000074 \text{ g} = 0.00127 \text{ g. (Producto Mx)}$$

$$\text{RPPAu} = \frac{290 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0308 \text{ g}} \times 100 = 94.2\%$$

$$0.0019 \text{ g} + \frac{94.2}{100} = 0.00179 \text{ g}$$

$$0.0290 \text{ g} + 0.00179 \text{ g} = 0.00127 \text{ g. (Producto NM)}$$



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

OBTENCION DEL RENDIMIENTO :

Por definición el rendimiento (R), es igual:

$$R = \frac{\text{Peso del útil en cada producto}}{\text{Peso del útil en la alimentación}} \times 100$$

Para nuestro caso queda:

$$R = \frac{\text{Peso del mineral útil en cada producto}}{\text{Peso total del mineral útil recuperado}} \times 100$$

(Suma de recuperación de Au corregida de Mg, Mx y NM.)

Eejemplo: Para la prueba #11 de la fracción de tamaño de oro 30-40 mallas (ASTM).

Recuperación total de Au en la prueba: 0.0321g.

$$R. \text{ en producto Mg} = \frac{20.7 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0321 \text{ g}} \times 100 = 6.4\%$$

$$R. \text{ en producto Mx} = \frac{93.19 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0321 \text{ g}} \times 100 = 29\%$$

$$R. \text{ en producto NM} = \frac{207.1 \times 10^{-4} \text{ g}}{0.0321 \text{ g}} \times 100 = 64.5\%$$

Recuperación Corregida de Au ( $\times 10^{-4}$ g).			Rendimiento (R) %		
Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM
20.70	93.19	207.10	6.4	29.0	64.5

OBTENCION DE LA TASA DE CONCENTRACION :

En Mineralurgia por definición, la tasa de concentración (T) es igual :

$$T = \frac{\text{Ley del útil en el producto concentrado} = c}{\text{Ley del útil en la alimentación} = a}$$

Pero,  $c = \frac{\text{Peso del útil en el concentrado} \times 100 = u}{\text{Peso del concentrado} = C}$

y,  $a = \frac{\text{Peso del útil en la alimentación} \times 100 = U}{\text{Peso de la alimentación} = A}$

Entonces:  $T = \frac{c}{a} = \frac{u}{C} \times \frac{1}{U/A} \times \frac{100}{100} = \frac{u}{U} \times \frac{1}{C/A}$

Donde  $u = \frac{\text{Peso del útil en el concentrado} = R}{\text{Peso del útil en la alimentación} = 100}$

Donde R = Rendimiento.

Y  $C/A = \frac{\text{Peso del concentrado en cada producto}}{\text{Peso total de la alimentación}}$

$C/A = \text{Porcentaje en peso del concentrado}/100.$

Entonces  $T = \frac{\text{Rendimiento}}{\% \text{ en peso del concentrado}} \times \frac{100}{100}$

#	LEY INICIAL (g/m <sup>3</sup> )			LEY FINAL (g/m <sup>3</sup> )			TASA DE CONCENTRACION		
	(a)			(c)			(T)		
	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM
10		500		239,50	1755,10	843,84	0,48	3,52	1,70
11		500		69,79	1476,92	769,18	0,14	2,90	1,50
12		500		0,00	1181,79	629,20	0,00	2,27	1,20

TABLA IX. Ejemplo de obtención de la tasa de concentración.

BIBLIOTECA FICIT  
ESPOL



### 6.3.2 VARIACION DE LA TASA DE CONCENTRACION Y EL RENDIMIENTO EN FUNCION DE LA CORRIENTE Y EL TAMAÑO DE GRANO :

Una vez analizados los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, se determinó la prueba con mayor rendimiento conjunto y mejor tasa de concentración conjunta, para cada tamaño de grano, tomándose los valores de los parámetros correspondientes como óptimos y constantes (tabla # XV ) para esta segunda fase del estudio.

Se analizó la variable corriente de campo, a la que se dió los valores de 0.5 A y 2.8 A; efectuando una prueba para cada tamaño de grano y cada valor de corriente dado.

Se ajustó la rata de alimentación efectiva considerada como óptima, de 65 lbs/h/pulg para 0.5A, en 3 11/32 vueltas del tornillo de la compuerta de alimentación; la velocidad de rotación del cilindro se ajustó en 160+4 rpm (45 medidas) valor considerado como óptimo, y los divisores en el valor constante dado anteriormente. Los resultados se dan en la tabla XVI y en la figura 30.

Cuando se varió la corriente a 2.8A, se ajustó la velocidad del cilindro en 210+4 rpm (55 medidas) para compensar el menor rendimiento obteni-

do en las pruebas anteriores. También se varió el espacio superior entre los polos y el cilindro en 1.5 mm, para evitar el choque del haz de partículas contra el polo magnético superior, lo cual se logró en parte.

Se trabajó con la rata de alimentación efectiva óptima de 65 lbs/h/pulg que para 2.8A de corriente corresponde a 4 5/8 vueltas del tornillo de la compuerta de alimentación. Los divisores se mantuvieron en las medidas anteriores. Los resultados de esta última parte de las pruebas se dan en la tabla XVII y en la figura 31, donde se grafica la variación de la tasa de concentración y el rendimiento conjuntos ( $M_x + N_M$ ) en función del tamaño de grano.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

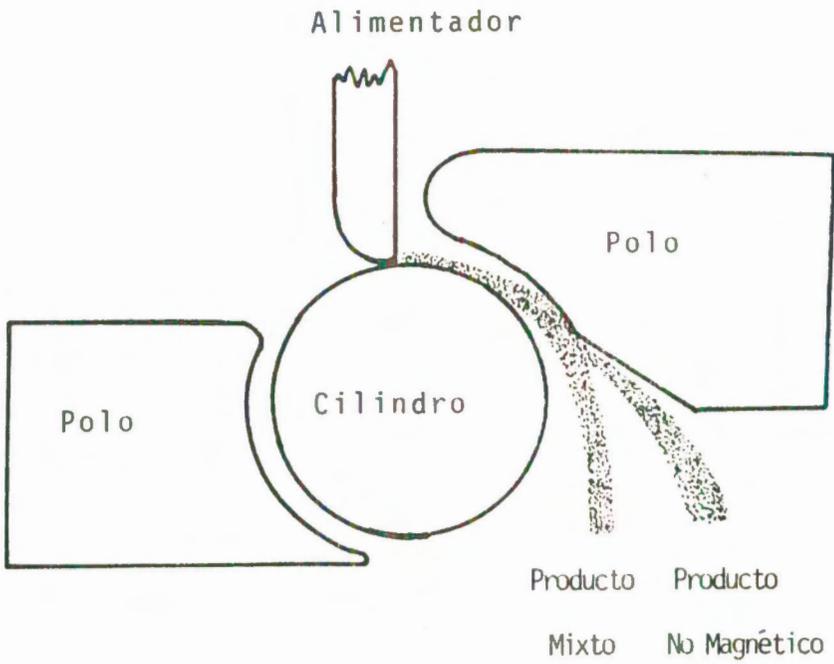
## CAPITULO # 7

### ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 7.1 ANALISIS DE LAS VARIABLES : RATA DE ALIMENTACION, VELOCIDAD DEL CILINDRO Y TAMAÑO DE GRANO.

Según los resultados dados en las tablas antes mencionadas (X-XIV) o si se observa los gráficos correspondientes (19-23), se tiene que cuando la velocidad del cilindro es de 210 rpm, las partículas deben viajar más lejos que cuando ésta es de 160 rpm, por ser mayor la fuerza centrífuga, de forma que debe quedar mayor cantidad de concentrado en la fracción no magnética cuando la velocidad del cilindro es de 210 rpm; sin embargo esto no ocurre debido al choque del haz de partículas contra el polo magnético superior originando una pequeña deflección en el mineral (rebote) lo que ocasiona que algunas partículas no magnéticas contaminen el producto mixto, como se esquematiza en la figura 18.

Antes de analizar los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas en el separador, se debe tener en cuenta la composición del concentrado (tabla V), la misma que no es constante entre los diferentes tamaños de grano, en cuanto se refiere al porcentaje de magnéticos y no magnéticos, lo que influye en la tasa de concen -



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Fig#18. Deflección del haz de partículas en el polo superior del separador magnético.

tración obtenida luego; especialmente para el rango de tamaño de grano del concentrado de 8-30 mallas, donde solo aproximadamente un 25% de magnéticos existe, mientras que para el rango de 100-200 mallas alcanzan un 80% de la muestra aproximadamente.

La recuperación del oro en el producto magnético disminuye al aumentar la velocidad de rotación del cilindro según se observa en las figuras 19 a 23, con una o dos excepciones, pero en todo caso ésta nunca es mayor que para las 78 rpm, esto se cumple para todos los tamaños de grano; podemos decir entonces que al aumentar la velocidad del cilindro mejora la recuperación del oro.

El rendimiento (recuperación del oro) del producto no magnético es siempre mejor (con dos o tres excepciones) para las 160 rpm del cilindro, mientras que para las 210 rpm el rendimiento se reparte más equitativamente entre los productos mixto y no magnético, debido probablemente al choque del haz de minerales con el polo superior del separador.

Se puede decir entonces que a medida que aumentan las revoluciones por minuto del cilindro, las partículas de oro viajan más lejos, llegando desde las 160 rpm mayoritariamente al producto no magnético; para todos los tamaños de grano.

Se puede observar además, que para velocidades de rota

ción del cilindro bajas (78 rpm), el rendimiento conjunto de los productos mixto y no magnético (Mx+NM), disminuye al aumentar la rata de alimentación, lo que se cumple en casi todos los tamaños de grano (fig 19-23), esto quiere decir que para velocidades del cilindro menores que 78 rpm la influencia de la rata de alimentación es mayor que la de la fuerza centrífuga; a su vez el rendimiento disminuye al disminuir el tamaño de grano.

La variación de la tasa de concentración se observa en las fig. 24-28; donde encontramos picos de la misma, (4 veces mayores que los de la ley inicial) para los siguientes rangos de tamaño del oro:

8-30 mallas, con 160 rpm y 100 lbs/h/pulg de rata de alimentación;

30-40 mallas, con 78 rpm y 200 lbs/h/pulg de R.A;

con 78 rpm y 317 lbs/h/pulh de R.A;

40-70 mallas, con 78 rpm y 100 lbs/h/pulg de R.A;

con 210 rpm y 200 lbs/h/pulg de R.A; **ESPOL**

70-100 mallas, con 78 rpm y 100 lbs/h/pulg de R.A;

100-200 mallas, con 78 rpm y 100 y 200 lbs/h/pulg de -

R.A; con 210 rpm y 200 lbs/h/pulg de -

rata de alimentación.

Un ejemplo lo tenemos en la fracción -40+70 mallas para la velocidad del cilindro de  $78 \pm 4$  rpm y 100 lbs/h/-



**BIBLIOTECA FICT**  
**ESPOL**

pulg. de rata de alimentación; aquí tenemos una tasa de concentración de 6.31 pero un rendimiento de apenas un 56.8%, el producto no magnético también tiene una tasa de concentración alta de 5.6 pero un rendimiento del 5.6%, si analizamos la tasa conjunta de concentración ( $Mx+NM$ ) nos da 6.24 con un rendimiento conjunto de 62.4%; habría una pérdida de oro de cerca del 40% del valor total.

Cuando estos picos se dan a velocidades del cilindro de  $160 \pm 4$  rpm y  $210 \pm 4$  rpm son mejores sus valores de tasa de concentración y rendimiento; ejemplo: En la fracción de  $-30 \pm 40$  mallas (oro grueso) para  $160 \pm 4$  rpm y  $.200$  lbs/h/pulg de R.A (fig.25b), se tiene una tasa de concentración de 9 para el producto mixto, con un rendimiento del 69%, pero el 31% restante está en el producto no magnético con una tasa de concentración de 0.65 apenas.

Si se grafica la tasa de concentración conjunta o sea la que se obtiene de sumar el producto mixto y el no magnético, como se muestra en las figuras 24-28 y en la figura 29; se observa en el oro muy grueso (8-30 mallas) que la recuperación del oro expresada en la tasa de concentración es prácticamente constante e independiente de la velocidad de rotación del cilindro, y de la rata de alimentación con que se opere el separador;

esto se debe al pequeño porcentaje de magnéticos presente (25%) en ésta fracción. La tasa de concentración no llega a 2.

De las mismas figuras para oro grueso (30-40 mallas), se manifiesta una ligera tendencia a disminuir la tasa de concentración al aumentar la rata de alimentación, siendo esta tendencia mucho mayor cuando la velocidad del cilindro es de 78 rpm. Como se explicó anteriormente éstos valores anómalos no indican buen rendimiento. La tasa de concentración conjunta es alrededor de 2 para las 160 y 210 rpm.

Para oro medio (40-70 mallas) el comportamiento es similar al del oro grueso. La tasa de concentración es de alrededor de 2 y se manifiesta independiente de la velocidad del cilindro para 160 y 210 rpm.

Para oro fino (70-100 mallas) se observa un comportamiento similar al anterior.

Para oro muy fino (100-200 mallas) se observa lo mismo (fig.24-28).

Así mismo del gráfico #29 podemos agregar que para ratas de alimentación altas (317 lbs/h/pulg) la tasa de concentración es prácticamente constante para cualquier velocidad del cilindro, aunque se aprecia una ligera tendencia a aumentar con la velocidad del mismo,

esto se verifica para cada tamaño de grano.

Mientras que para ratas de alimentación de 100 y 200 - lbs/h/pulg, la influencia de la velocidad de rotación se manifiesta sólo cuando ésta es de 78 rpm en cuanto a la tasa de concentración. El rendimiento conjunto - (Mx+NM) promedio de recuperación del oro es mayor para ratas de alimentación más bajas (100 lbs/h/pulg) y a su vez es ligeramente menor al disminuir el tamaño de grano (fig. 29).

Analizando el rendimiento conjunto de mixtos y no magnéticos y su tasa de concentración conjunta, se determinó la prueba de resultados óptimos, para cada tamaño de grano.

Para el rango de 8-30 mallas (oro muy grueso):

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
2	100	1.26
3	93	1.16
5	96.73	1.20
8	100	1.22
9	100	1.21

Se eligió como prueba de resultados óptimos la #2.

Para el rango de 30-40 mallas (oro grueso).

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
11	94	1.77
12	100	1.67

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
14	100	1.81
17	100	1.75

La mejor prueba es la #14.

Para el rango de 40-70 mallas:

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
20	99.6	2.31
23	96.58	2.28
24	91.40	1.78
26	96.96	1.60

La prueba con mejores resultados es la #20



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

Para el rango de 70-100 mallas (oro fino):

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
29	97	2.33
32	96.6	2.15
36	99.3	1.93

La mejor prueba es la #29.

Para el rango de 100-200 mallas (oro muy fino):

Prueba	Rendimiento Conjunto %	Tasa de Conc. Conjunta
38	98.05	2.51
39	100	2.01
42	96.40	1.94
44	95.40	2.35

La mejor prueba es la #38.

PRUEBA #	PESO Au (g)	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( $g \times 10^{-4}$ )			RENDIMIENTO (%)			TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx+NM)			
				Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	(Mx+NM)
				1	0,0323	100	78	31,67	67,67	0,66	30,00	293,00	0,00	9,30	90,71	0,00
2	0,0329	100	160	20,33	15,00	64,67	0,00	261,00	68,00	0,00	79,33	20,67	0,00	5,29	0,32	1,26
3	0,0328	100	210	19,67	18,67	61,67	23,00	0,00	305,00	7,00	0,00	93,00	0,36	0,00	1,51	1,16
4	0,0328	200	78	30,00	64,00	6,00	97,00	231,00	0,00	29,57	70,43	0,00	0,99	1,19	0,00	1,00
5	0,0336	200	160	19,67	13,67	66,66	11,00	0,00	325,00	3,3	0,00	96,70	0,17	0,00	1,45	1,20
6	0,0319	200	210	18,67	21,33	60,00	0,00	81,00	238,00	0,00	25,40	74,60	0,00	1,19	1,24	1,23
7	0,0324	317	78	24,67	62,33	13,00	165,02	158,98	0,00	50,93	49,07	0,00	2,06	0,79	0,00	0,65
8	0,0318	317	160	18,33	13,33	68,33	0,00	38,73	279,27	0,00	12,18	87,82	0,00	0,91	1,28	1,22
9	0,0325	317	210	17,00	14,33	68,67	0,00	90,00	235,00	0,00	27,69	72,31	0,00	1,93	1,05	1,20

Peso del concentrado : 300 g.

Tamaño de grano del concentrado : - 8 + 30 mallas (ASTM).

Tamaño del oro : + 30 mallas (ASTM).

Corriente : 0,3 A.

Divisor interno : +5<sup>º</sup> ; Divisor externo : +30<sup>º</sup>

**TABLA X: Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 8-30 mallas (ASTM)**

PRUEBA #	PESO Au (g)	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( $\times 10^{-4}$ g.)			RENDIMIENTO (%)			TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx + NM)			
				Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	MX	NM	Mg	Mx	NM	(Mx + NM)
10	0,0315	100	78	81,67	16,33	2,00	123,45	180,9	10,65	39,20	57,40	3,40	0,48	3,52	1,70	3,32
11	0,0321	100	160	47,33	10,00	42,67	20,70	93,19	207,10	6,40	29,00	64,50	0,14	2,90	1,50	1,77
12	0,0329	100	210	40,00	26,00	34,00	0,00	193,95	135,05	0,00	59,00	41,00	0,00	2,27	1,20	1,67
13	0,0325	200	78	72,33	24,00	3,67	75,44	200,36	49,20	23,00	62,00	15,00	0,32	2,58	4,09	2,29
14	0,0329	200	160	44,67	7,67	47,67	0,00	227,12	101,88	0,00	69,00	31,00	0,00	9,00	0,65	1,81
15	0,0325	200	210	39,33	19,33	41,33	0,00	164,28	160,72	0,00	51,00	49,00	0,00	2,64	1,19	1,65
16	0,0322	317	78	82,33	16,33	1,33	248,11	73,89	0,00	77,00	23,00	0,00	0,94	1,41	0,00	1,30
17	0,0319	317	160	43,00	4,00	53,00	0,00	86,02	232,99	0,00	27,00	73,00	0,00	6,75	1,38	1,75
18	0,0321	317	210	38,00	22,00	40,00	14,19	144,15	162,77	4,40	44,89	50,68	0,12	2,04	1,27	1,54

Peso del concentrado : 300g.

Tamaño de grano del concentrado : - 30 + 50 mallas (ASTM).

Tamaño del oro : - 30 +40 mallas (ASTM).

Corriente : 0,3 A.

Divisor interno.: +5° ; Divisor externo : +30°

BIBLIOTECA FIC  
ESPOL



TABLA XI: Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 30-40 mallas(ASTM)

PRUEBA #	PESO Au (g)	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( $\times 10^{-4}$ g)			RENDIMIENTO (%)			TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx + NM)			
				Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	(Mx + NM)
19	0,0324	100	78	90,00	9,00	1,00	121,80	184,00	18,00	37,60	56,80	5,60	0,42	6,31	5,60	6,24
20	0,0320	100	160	57,00	7,33	35,67	1,35	54,03	264,64	0,42	16,90	82,70	0,00	2,31	2,32	2,32
21	0,0324	100	210	46,67	19,33	34,00	11,11	165,71	147,16	3,40	51,10	45,40	0,07	2,64	1,34	1,81
22	0,0319	200	78	88,67	10,00	1,33	213,69	105,31	0,00	67,00	33,00	0,00	0,75	3,30	0,00	2,91
23	0,0324	200	160	57,67	4,33	38,00	10,77	63,45	249,68	3,30	19,60	77,00	0,06	4,52	2,03	2,28
24	0,0326	200	210	48,67	8,33	43,00	27,86	132,26	165,74	8,50	40,60	50,90	0,17	4,87	1,18	1,78
25	0,0324	317	78	95,00	4,00	1,00	301,60	10,40	11,90	93,00	3,20	3,70	0,98	0,80	3,70	1,38
26	0,0330	317	160	55,00	5,67	39,33	10,00	27,00	293,00	3,03	8,20	88,80	0,06	1,44	2,26	2,15
27	0,0329	317	210	45,00	12,33	42,67	3,24	44,40	281,38	0,99	13,50	85,50	0,02	1,09	2,00	1,80

Peso del concentrado : 300 g.

Tamaño de grano del concentrado : -50 +100. mallas (ASTM)

Tamaño del Oro : - 40 + 70 mallas (ASTM).

Corriente : 0,3 A.

Divisor interno : +5<sup>º</sup> ; Divisor externo: +30<sup>º</sup>

**TABLA XII: Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 40-70 mallas.**

PRUEBA #	PESO Au (g)	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( $\times 10^{-4}$ g.)			RENDIMIENTO (%)			TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx + NM)			
				Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	(Mx + NM)
28	0,0329	100	78	89,00	9,33	1,70	165,60	163,40	0,00	50,33	49,70	0,00	0,56	5,32	0,00	4,50
29	0,0320	100	160	58,33	7,33	34,33	10,00	38,00	272,00	3,10	12,00	85,00	0,05	1,64	2,48	2,33
30	0,0327	100	210	49,70	21,30	29,00	2,00	131,40	193,60	0,61	40,20	59,20	0,01	1,88	2,04	1,98
31	0,0322	200	78	90,33	8,33	1,33	212,80	109,20	0,00	66,00	34,00	0,00	0,73	4,08	0,00	3,52
32	0,0321	200	160	55,00	4,00	41,00	11,03	23,07	286,90	3,40	7,20	89,40	0,06	1,80	2,18	2,15
33	0,0323	200	210	43,67	8,00	48,33	13,04	46,14	263,82	4,00	14,30	81,70	0,09	1,79	1,70	1,70
34	0,0323	317	78	92,33	7,00	0,67	300,10	22,90	0,00	93,00	7,08	0,00	1,00	1,01	0,00	0,92
35	0,0324	317	160	57,00	6,00	37,00	23,00	27,00	274,00	7,10	8,30	84,60	0,12	1,38	2,29	2,16
36	0,0325	317	210	48,67	8,33	43,00	2,16	9,72	313,12	0,66	3,00	96,30	0,01	0,36	2,24	2,20

Peso del Concentrado : 300 g.

Tamaño de grano del concentrado : - 50 + 100 mallas (ASTM).

Tamaño del Oro : - 70 + 100 mallas (ASTM).

Corriente : 0,3 A.

Divisor interno : +5° ; Divisor externo: +30°

B. S. J. U. I. T. A.  
 - SPOL



TABLA XIII: Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 70-100 mallas.

PRUEBA #	PESO Au (g)	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( x 10 <sup>-4</sup> g.)			RENDIMIENTO (%)			TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx + NM)			
				Mg	Mx	NM	Mg	MX	NM	Mg	Mx	NM	Mg	MX	NM	(Mx + NM)
				37	0,0322	100	78	91,70	7,67	0,67	186,30	132,20	3,46	57,90	41,00	1,10
38	0,0327	100	160	63,00	1,70	35,30	6,40	12,70	307,90	1,90	3,90	94,20	0,03	2,33	2,66	2,65
39	0,0325	100	210	50,30	3,70	46,00	0,00	38,96	286,04	0,00	12,00	88,00	0,00	3,27	1,91	2,01
40	0,0323	200	78	91,30	8,00	0,70	205,40	117,60	0,00	63,60	36,40	0,00	0,70	4,25	0,00	4,18
41	0,0318	200	160	61,70	2,30	36,00	45,00	19,00	254,00	14,20	6,00	79,80	0,02	2,56	2,22	2,24
42	0,0329	200	210	50,30	2,70	47,00	11,90	38,10	279,00	3,60	11,60	84,80	0,07	4,34	1,80	1,94
43	0,0328	317	78	96,30	3,00	0,70	308,00	20,00	0,00	94,00	6,00	0,00	0,98	2,00	0,00	1,62
44	0,0321	317	160	59,30	4,30	36,30	14,80	16,30	289,90	4,60	5,10	90,30	0,08	1,18	2,48	2,35
45	0,0320	317	210	45,30	5,00	49,70	8,00	22,80	289,20	2,50	7,10	90,40	0,06	1,42	1,82	1,78

Peso del Concentrado : 300 g.

Tamaño de grano del concentrado : - 100 + 200 mallas (ASTM).

Tamaño del Oro : - 100 + 200 mallas (ASTM).

Corriente : 0,3 A.

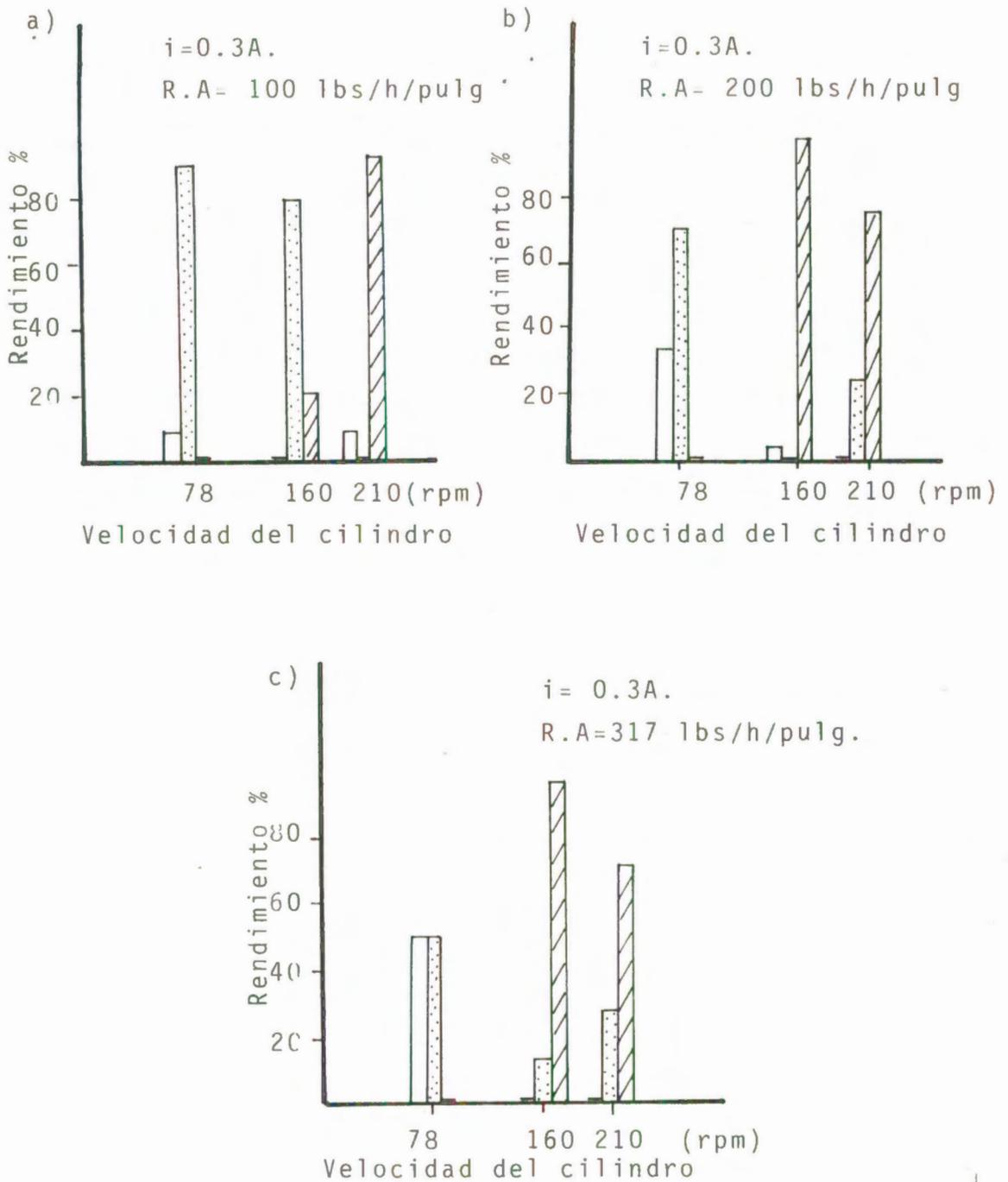
Divisor interno : +5° ; Divisor externo : +30°



TABLA XIV: Resultados de las pruebas para el rango de tamaño del oro de 100-200 mallas.

TAMAÑO de GRANO	R.A lbs/h/pulg	V.C rpm	C A	DIVISORES		RENDIMIENTO (%)				TASA DE CONCENTRACION			
				1	2	Mg	Mx	NM	Mx+NM	Mg	Mx	NM	Mx+NM
8-30	100	160	0.3	+5º	+30º	0.00	79.3	20.7	100.0	0.00	5.29	0.32	1.26
30-40	200	160	0.3	+5º	+30º	0.00	69.0	31.0	100.0	0.00	9.00	0.65	1.81
40-70	100	160	0.3	+5º	+30º	0.42	16.9	82.7	99.6	0.00	2.31	2.32	2.32
70-100	100	160	0.3	+5º	+30º	3.1	12.0	85.0	97.0	0.56	5.32	0.00	4.50
100-200	100	160	0.3	+5º	+30º	1.90	3.9	94.2	98.0	0.03	2.33	2.66	2.65

TABLA XV :Valores de los parámetros de las pruebas, con mejores resultados obtenidos.



**Fig.#19.** Variación del Rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación, y para la fracción 8-30 de tamaño del oro.

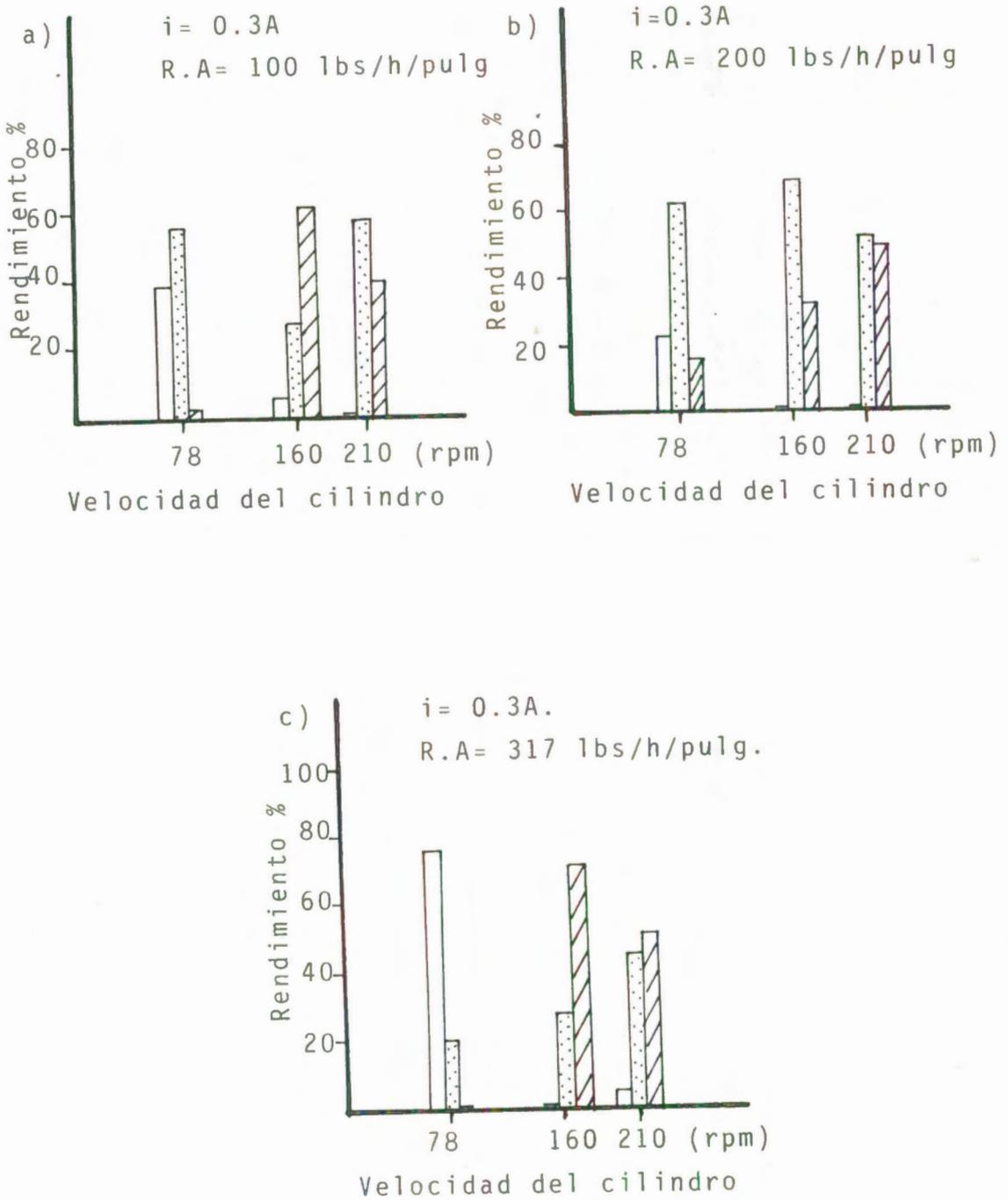
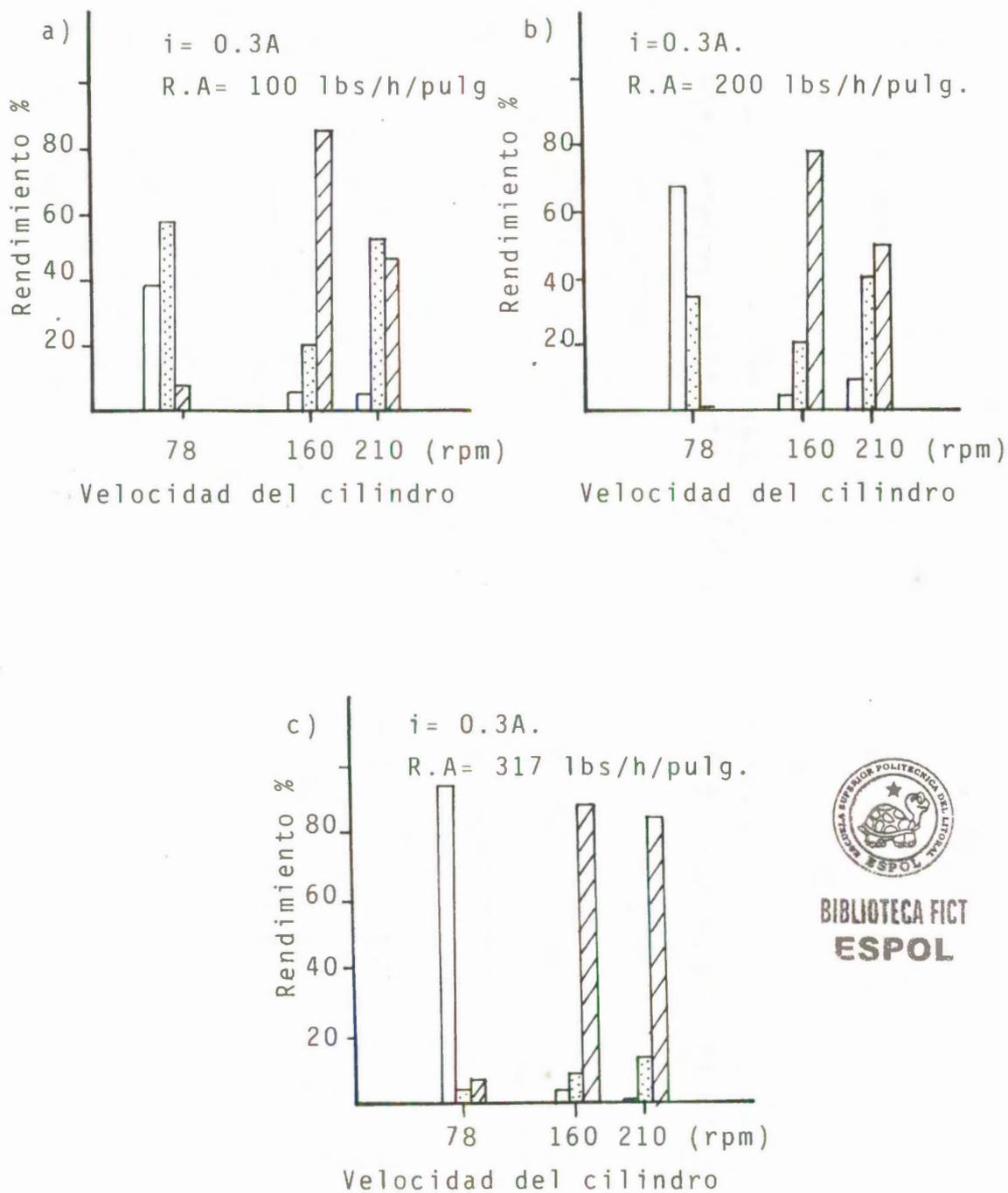
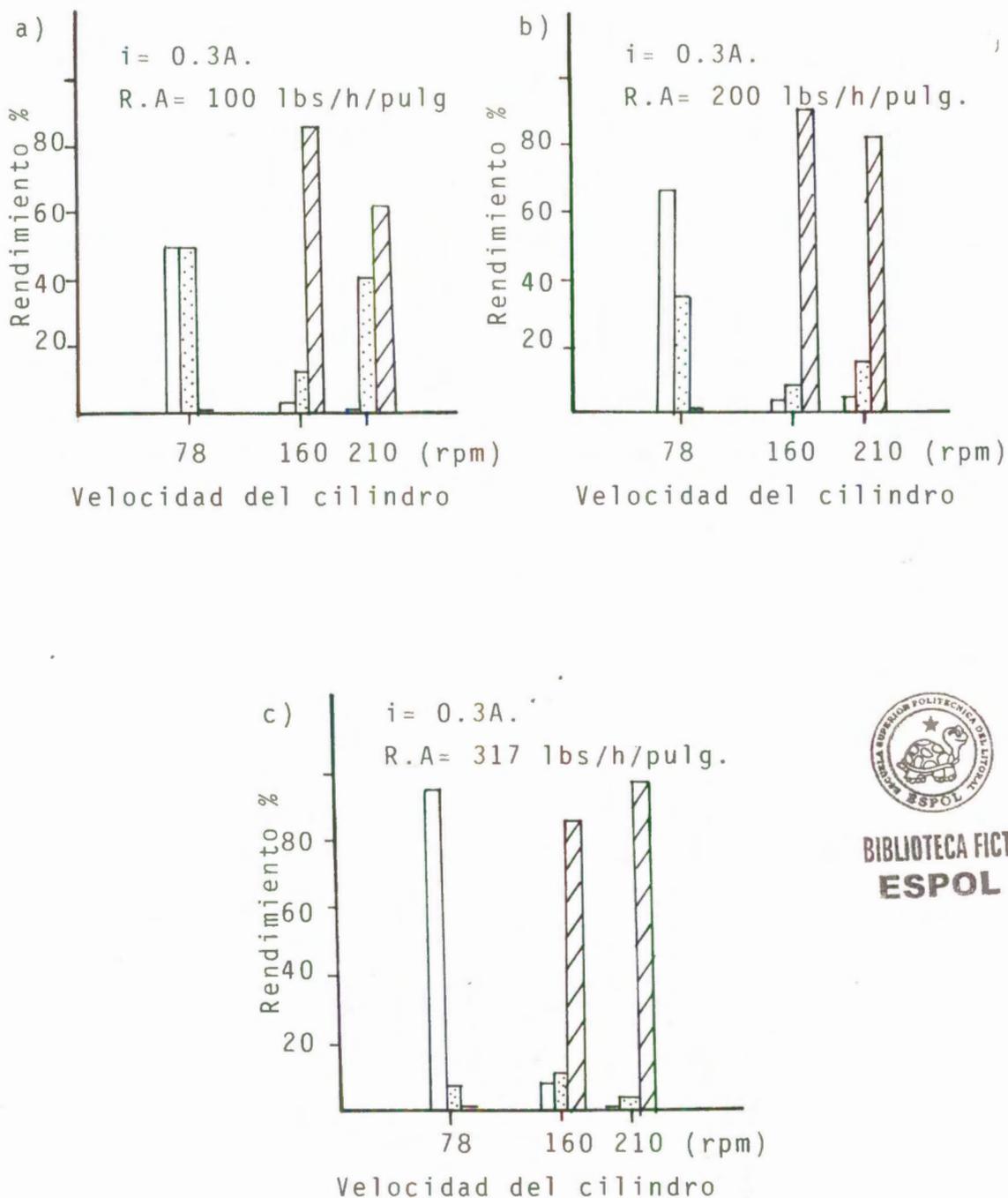


Fig.#20. Variación del Rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación. Fracción de tamaño de oro 30-40 mallas.



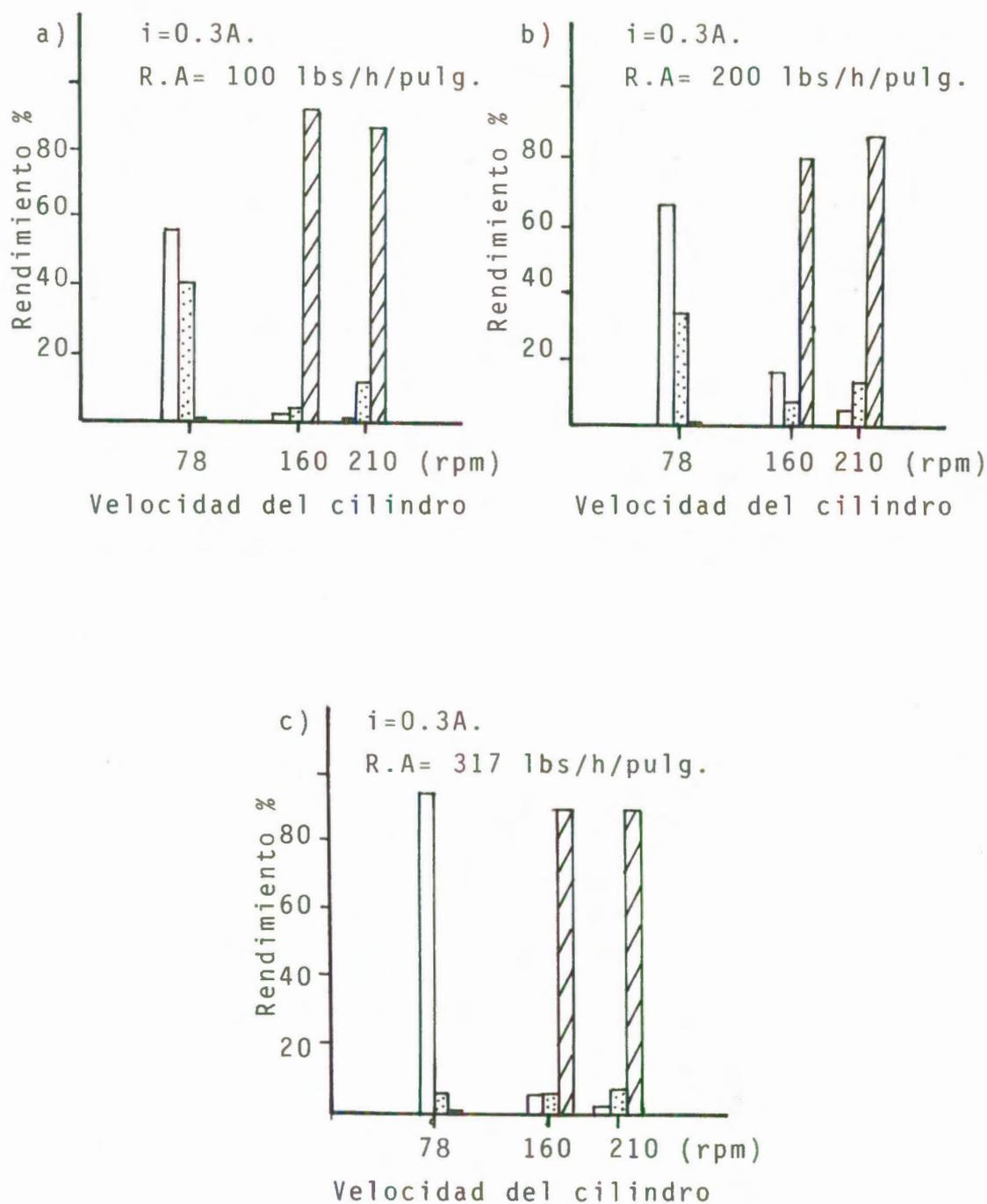
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig.#21. Variación del Rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación. Fracción de tamaño del oro 40-70 mallas.

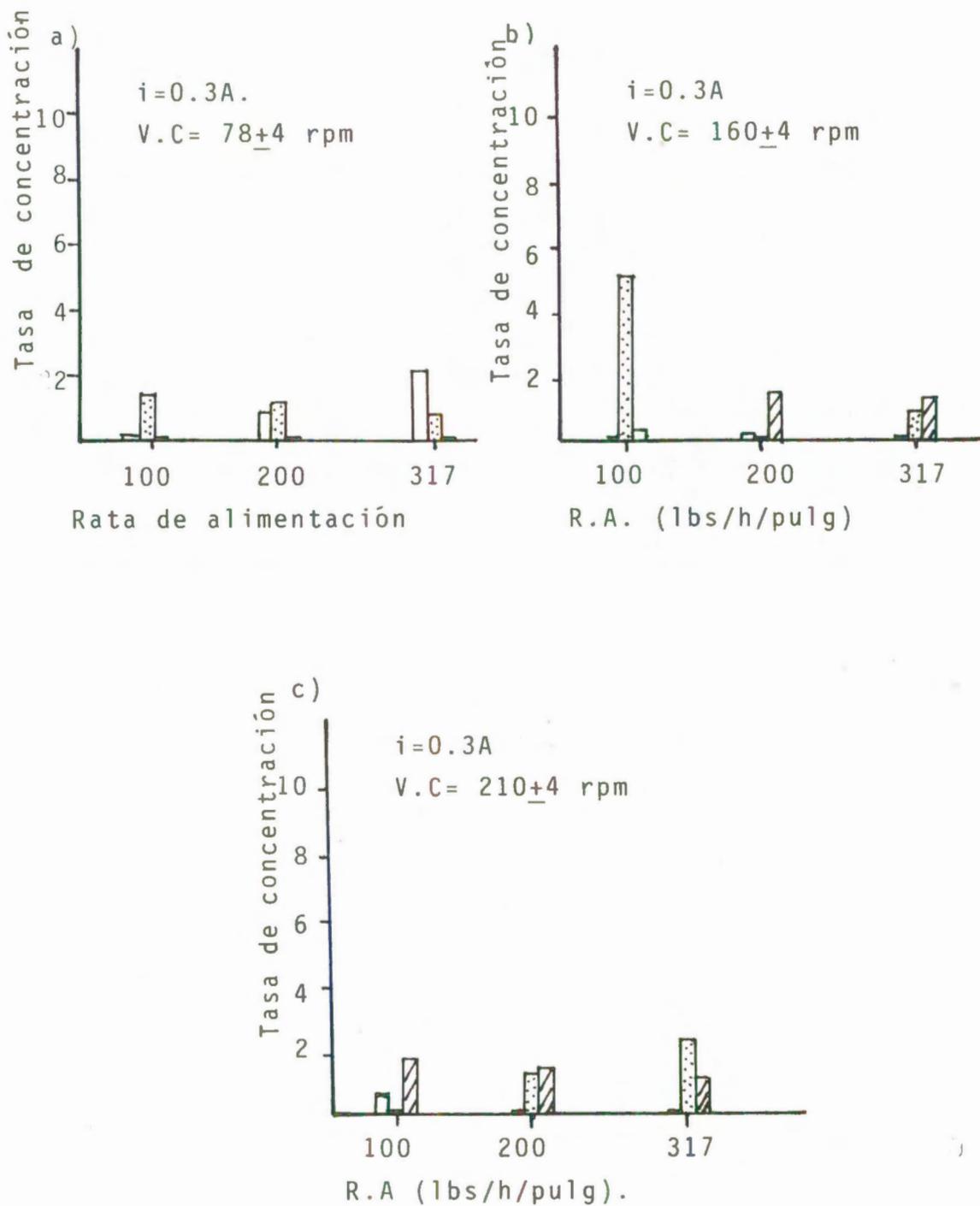


BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

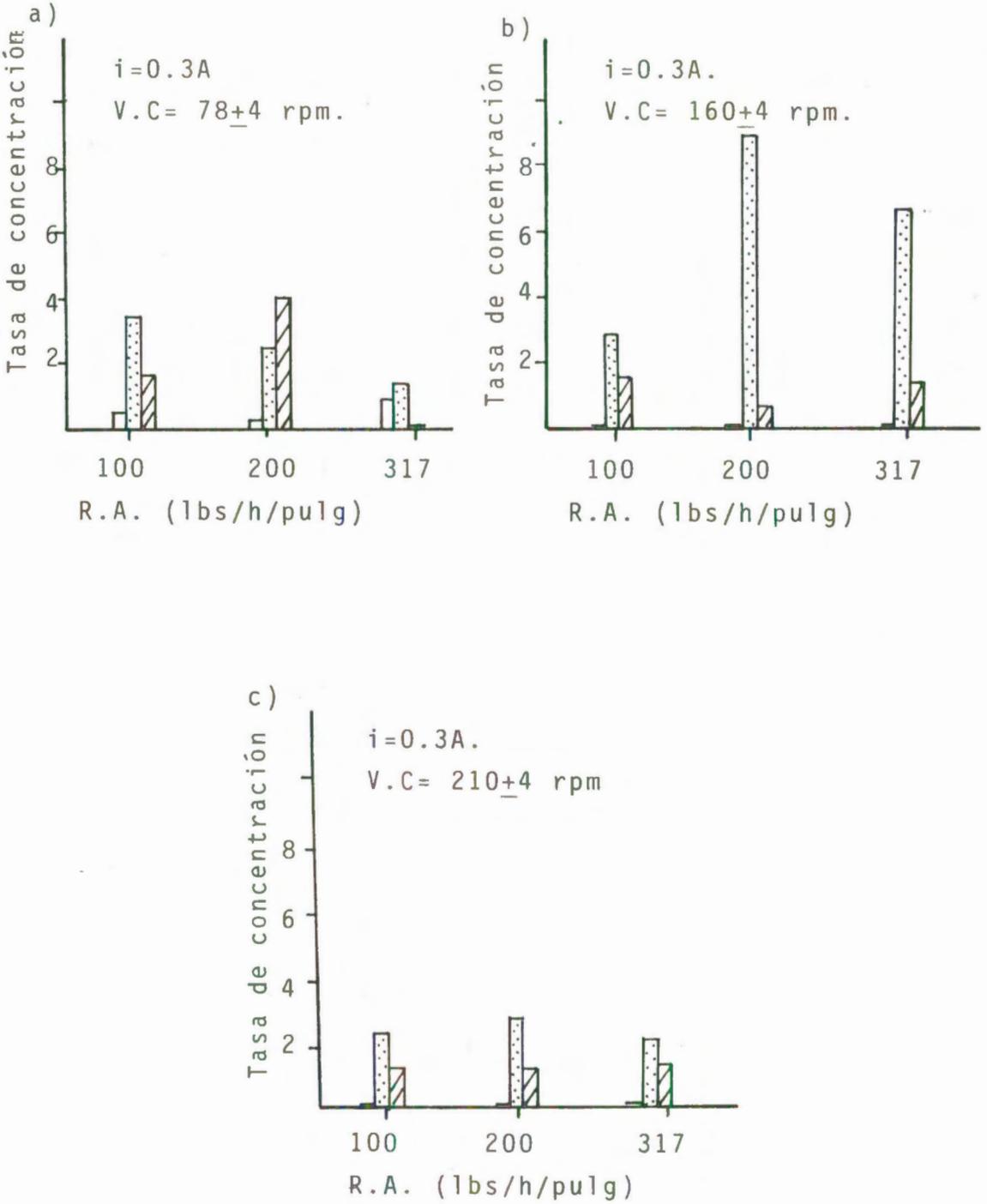
Fig#22. Variación del Rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación. Fracción de tamaño del oro 70-100 mallas (ASTM).



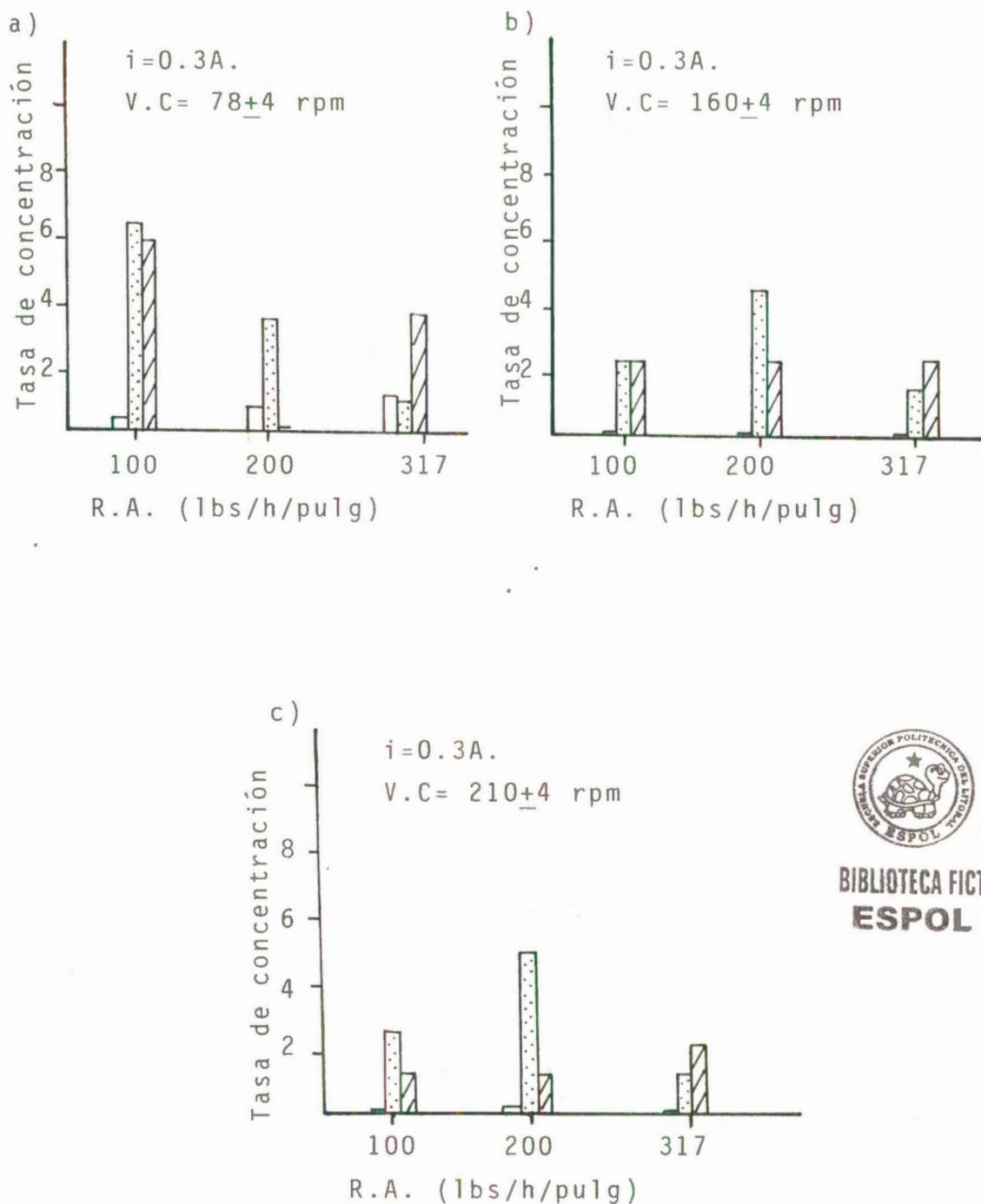
**Fig#23. Variación del Rendimiento en función de la velocidad del cilindro para cada rata de alimentación. Tamaño del oro 100-200 mallas (ASTM).**



**Fig#24.** Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro. Tamaño del oro 8-30 mallas (ASTM).

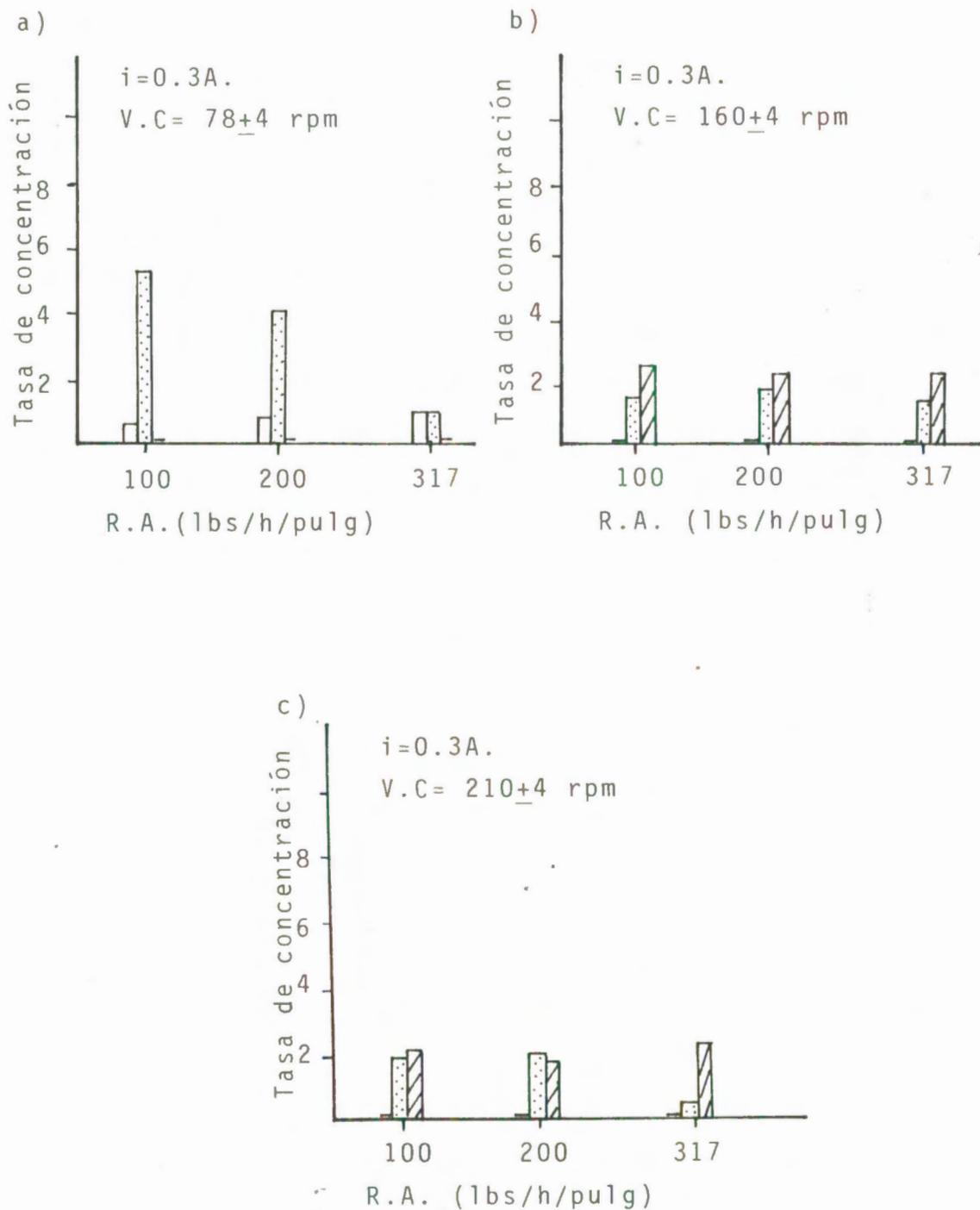


Fig#25. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada de velocidad del cilindro. Tamaño del oro 30-40 mallas (ASTM).

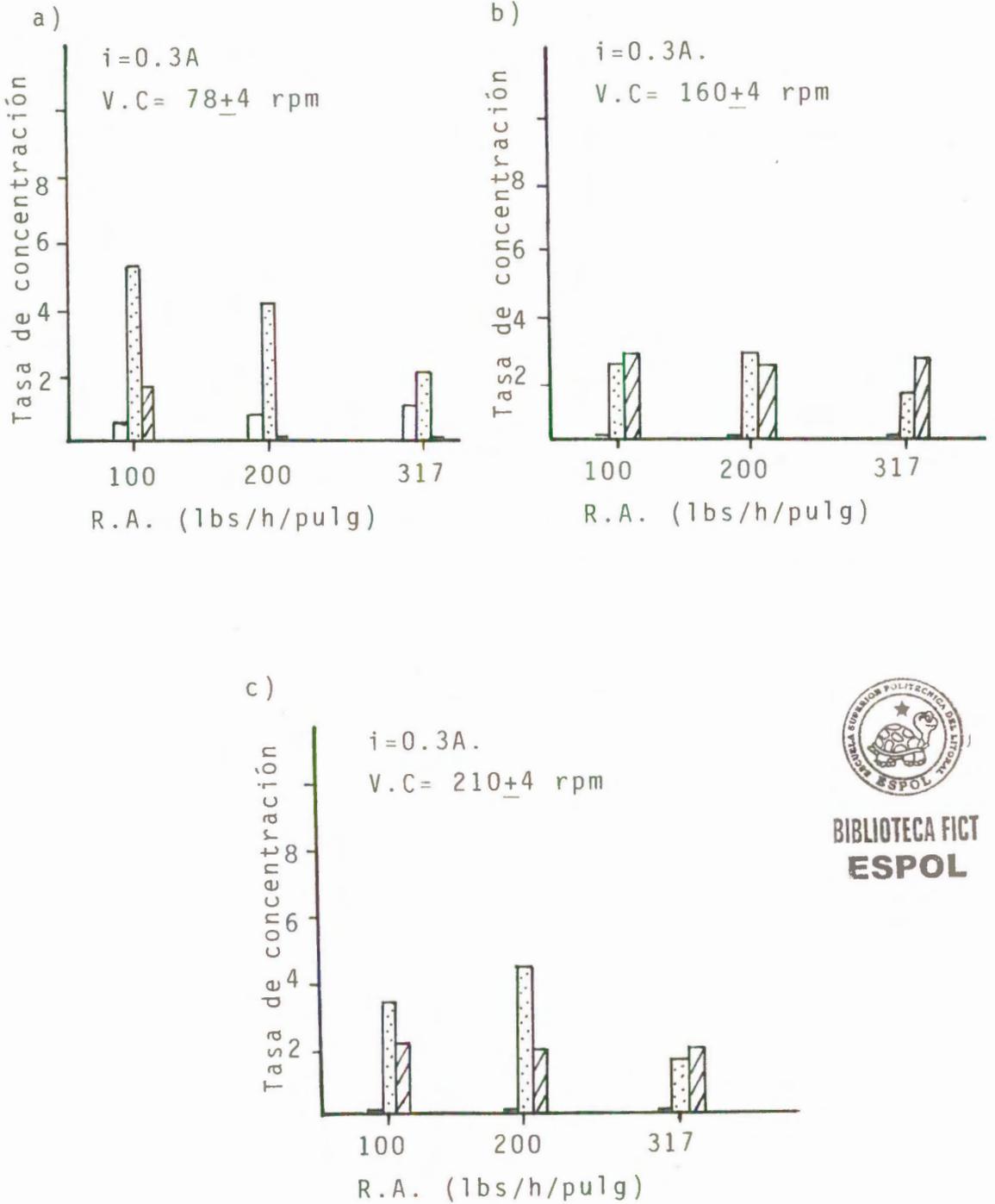


BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig#26. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro. Tamaño del oro 40-70 mallas (ASTM).



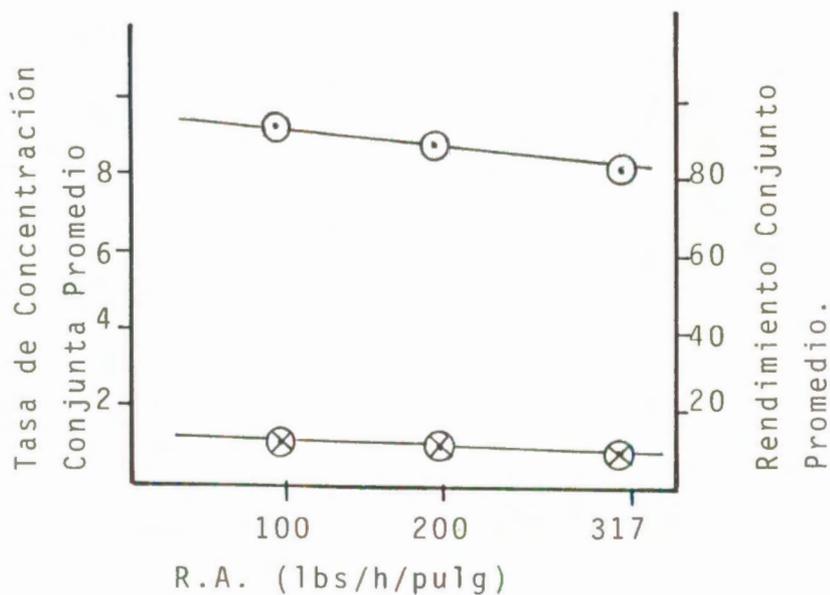
Fig#27. Variación de la tasa de concentración en función de la rata de alimentación para cada velocidad del cilindro. Tmaño del oro 70-100 mallas (ASTM).



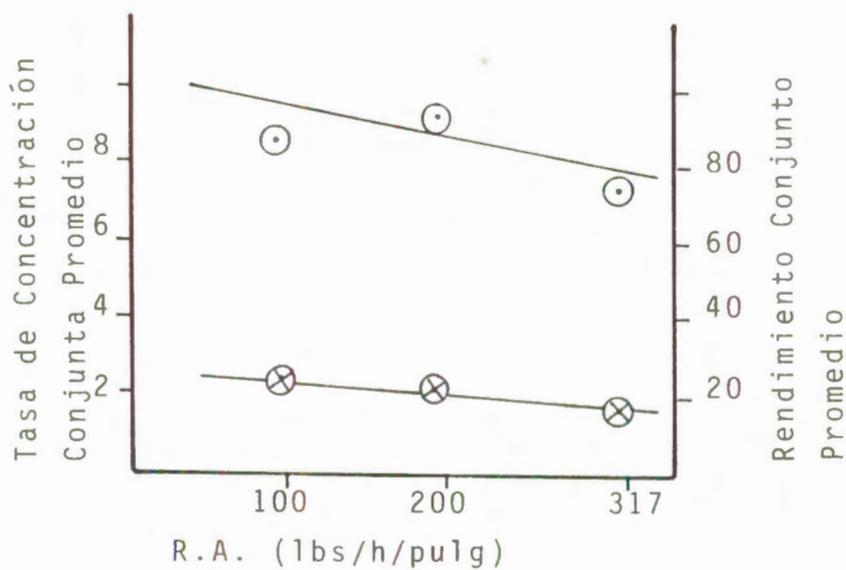
BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Fig#28. Variación de la tasa de concentración con la rata de alimentación, para cada velocidad deñ cilindro. Para el tamaño del oro de 100-200 mallas (ASTM).

a) Fracción 8-30 mallas.

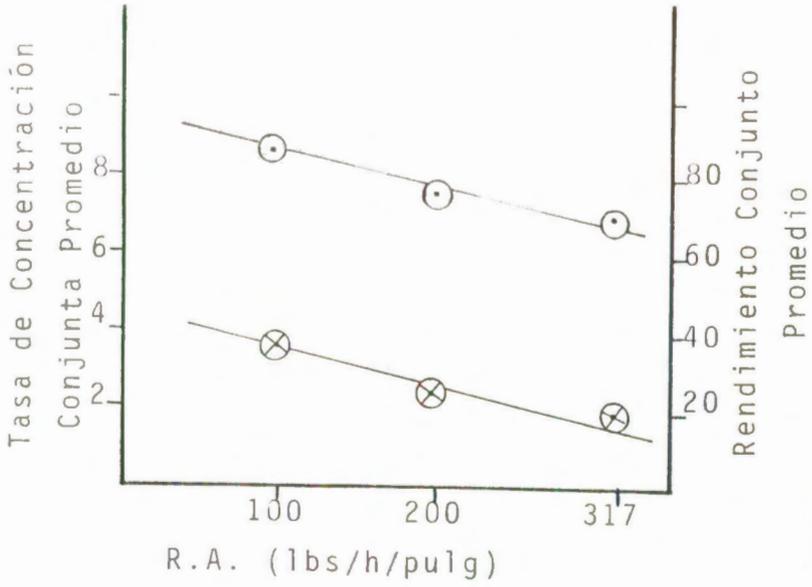


b) Fracción 30-40 mallas

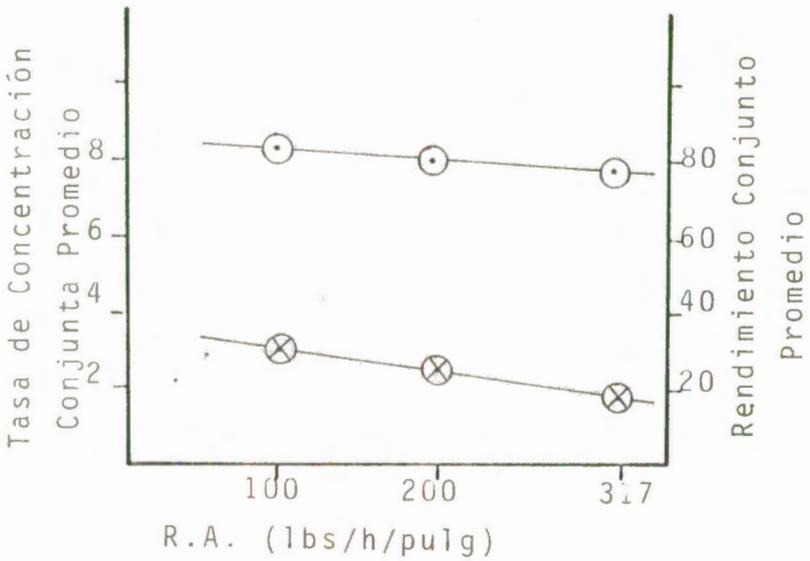


Fig#29. Variación de la tasa de concentración y el rendimiento conjunto promedio en función de la rata de alimentación, a) y b).

c) Fracción 40-70 mallas



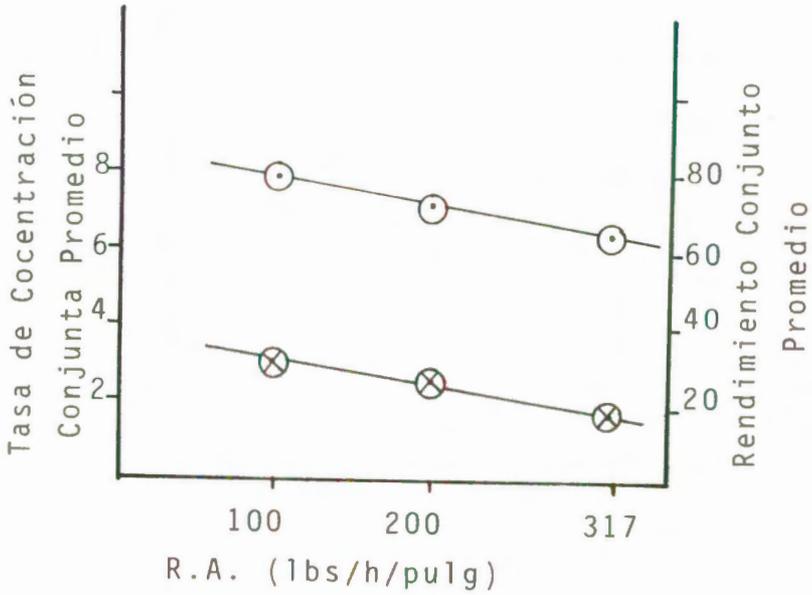
d) Fracción 70-100 mallas



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig#29 c) y d) Variación de la tasa de concentración y el rendimiento, conjunto promedio en función de la rata de alimentación.

e) Fracción 100-200 mallas



- ⊗ Tasa de Concentración Conjunta Promedio
- ⊙ Rendimiento Conjunto Promedio.

Fig#29 e) Variación de la tasa de concentración y el rendimiento, conjuntos promedio en función de la rata de alimentación.

## 7.2 ANALISIS DE LAS VARIABLES CORRIENTE Y TAMAÑO DE GRANO:

Al aumentar la corriente a 0.5 A. se observa (con excepción del oro entre 8-30 mallas) que un 60-80% del concentrado queda retenido en el producto magnético (tabla #16)

Para esta misma corriente mejora la tasa de concentración conjunta para casi todos los tamaños de grano, si se la compara con la obtenida en la prueba considerada como óptima para 0.3A de corriente, (fig.29 y 30 ó tablas XV y XVI).

En cambio se obtiene un rendimiento menor que en la prueba óptima para 0.3A de corriente. para cada tamaño de grano (tablas XV y XVI).

Se observa de modo general que al disminuir el tamaño de grano aumenta la tasa de concentración conjunta (llegando a cerca de 4) pero disminuye el rendimiento conjunto de los productos mixto y no magnético, ligeramente, para las pruebas en que la corriente es 0.5A. (fig #30).

De la tabla XVIII en la que se dan las medidas de la distribución del concentrado en los productos magnético, mixto y no magnético, cuando se ha variado el espacio superior entre los polos y el ci

PRUEBA #	PESO Au (g)	TAMAÑO del Au (ASTM)	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA del Au ( $\times 10^{-4}$ g.)			RENDIMIENTO (%)				TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta (Mx + NM)			
			Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	(Mx+NM)	Mg	Mx	NM	(Mx + NM)
46	0,0329	8-30	21,33	29,33	49,34	0,00	222,03	102,97	0,00	68,32	31,68	100,00	0,00	2,33	0,64	1,27
47	0,0321	30-40	64,70	22,00	13,30	12,20	170,60	142,20	3,75	52,50	43,75	96,25	0,06	2,39	3,28	2,72
48	0,0323	40-70	73,33	19,33	7,33	12,00	203,00	108,00	3,72	62,85	33,44	96,29	0,05	3,25	4,56	3,61
49	0,0326	70-100	74,70	16,30	9,00	50,10	148,20	127,70	15,36	45,45	39,18	84,63	0,21	2,78	4,35	3,34
50	0,0316	100-200	78,00	14,67	7,33	51,90	115,80	148,30	16,40	36,64	46,95	83,60	0,21	2,50	6,41	3,80

Peso del concentrado : 300 g.

Rata de alimentación efectiva : 65 lbs/h/pulg.

Velocidad de rotación del cilindro: 160 rpm.

Corriente : 0,5 A.

Divisor interno : +5° ; Divisor externo : +30°

TABLA XVI: Resultados de las pruebas cuando la corriente es 0.5 A.

PRUEBA #	PESO Au (g)	TAMAÑO de Au (ASTM)	PESO DEL CONCENTRADO (%)			RECUPERACION CORREGIDA de Au ( x 10 <sup>-4</sup> g.)			RENDIMIENTO (%)				TASA DE CONCENTRACION Tasa Conjunta			
			Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	Mg	Mx	NM	(Mx+NM)	Mg	Mx	NM	(Mx+NM)
51	0,0334	8-30	28,00	17,30	54,70	0,00	42,00	283,00	0,00	12,90	87,08	100,00	0,00	0,74	1,59	1,39
52	0,0337	30-40	71,67	6,67	21,67	1,00	47,00	289,00	0,30	13,94	85,76	99,71	0,00	2,09	3,96	3,52
53	0,0325	40-70	84,70	3,70	11,67	4,00	47,30	273,70	1,24	14,55	84,21	98,76	0,02	3,96	7,22	6,44
54	0,0330	70-100	88,00	3,00	9,00	28,00	51,00	257,00	8,33	15,18	76,49	91,67	0,09	5,06	8,50	7,64
55	0,0309	100-200	88,00	2,00	10,00	6,00	55,80	247,20	1,95	18,05	80,00	98,05	0,02	9,02	8,00	8,17

Peso del concentrado : 300 g.

Rata de alimentación efectiva : 65 lbs/h/pulg.

Velocidad de rotación del cilindro : 210 rpm.

Corriente : 2,8 A.

Divisor interno : +5° ; Divisor externo : +30°

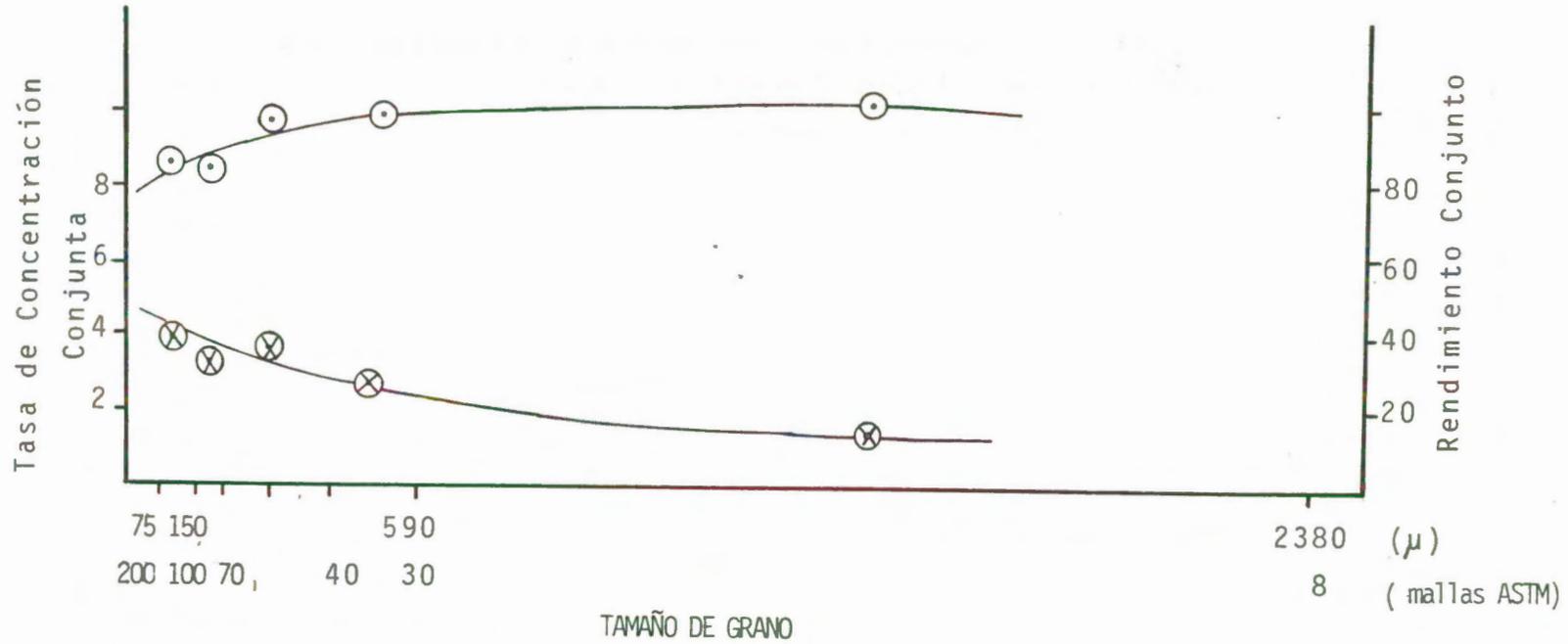
**TABLA XVII: Resultados de las pruebas cuando la corriente es 2.8 A.**

VELOCIDAD CILINDRO (rpm)	CORRIENTE A	ESPACIO INFERIOR (mm)	ESPACIO SUPERIOR (mm)	CONCENTRADO (g)		
				Mg	Mx	NM
210	2.8	2	15	216	20	64
210	2.8	2	9	241	22	37
160	2.8	2	9	258	15	27
210	2.8	2	15	225	16	59
210	2.0	2	15	208	16	63

Se utilizó la fracción de tamaño de grano de 30-50 mallas (ASTM)..

**TABLA XVIII: Medidas de la distribución del concentrado, al variar el espaciamiento superior entre los polos magnéticos y el cilindro.**

Fig# 30. Variación de la tasa de concentración y el rendimiento en función del tamaño de grano.



$i = 0.5 \text{ A.}$

Rata de alimentación efectiva = 65 lbs/h/pulg.

Velocidad del cilindro =  $160 \pm 4 \text{ rpm.}$

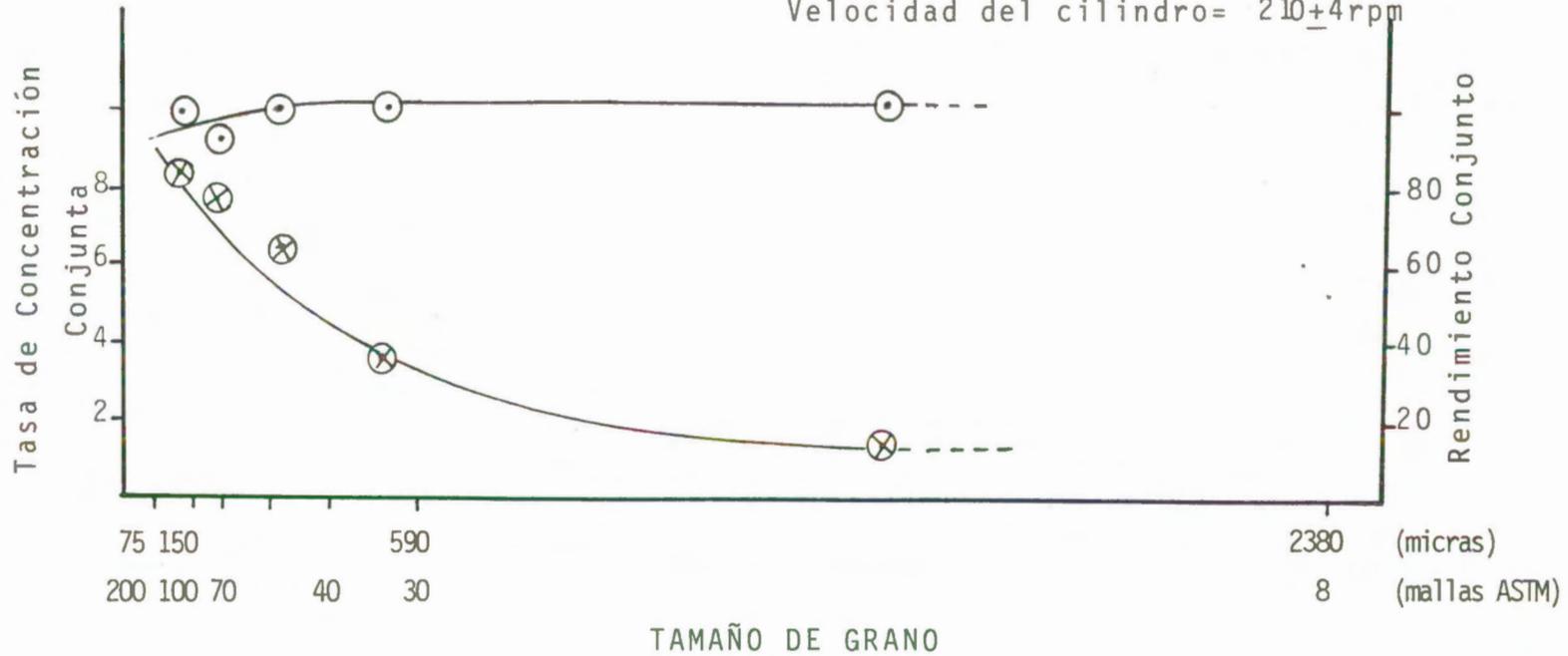
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



$i = 2.8 \text{ A.}$

R. A. efectiva = 65 lbs/h/pulg

Velocidad del cilindro =  $210 \pm 4 \text{ rpm}$



Fig#31. Variación de la tasa de concentración y el rendimiento en función del tamaño de grano.

lindro a 9 y 1.5 milímetros, se observa un menor porcentaje de concentrado en el producto magnético ocasionado por la reducción del campo magnético, debido al mayor espaciamiento entre los polos y el cilindro.

Cuando la corriente aumenta a 2.8 A., la tasa de concentración conjunta sigue aumentando a medida que disminuye el tamaño de grano, también disminuye ligeramente el rendimiento (fig 31).

Se observa (tabla XVII) que para 2.8A de corriente se llega a un 88% de retención del material en el producto magnético para la fracción de 100-200 mallas y un 70% para la fracción de 30-40 mallas.

Aunque la tasa de concentración mejora duplicándose en el mejor caso con respecto a los resultados obtenidos para 0.5 A (fig 30), el rendimiento no es menor que para 0.5 A. de corriente; esto justifica el haber aumentado la velocidad del cilindro a 210 rpm por lo cual se ha minimizado la contaminación de oro en el producto magnético.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## CAPITULO # 8

### APLICACION PRACTICA DEL ESTUDIO

Es conocido que en el país existen muchos ríos en los que se ha encontrado indicios de oro . La misma Dirección de Geología y Minas entre los años 1982 y 1983, encontró un potencial de oro en placeres con una extensión de 3300 km<sup>2</sup>, localizados en todo el territorio ( 8 ).

Además se conoce también que existen lavaderos de oro en Guayzimi, Nangaritza, Valladolid y Loyola, en la región suro-oriental del país. Solo en los ríos Zamora, Nambija y Yacuambi, han habido trabajos de prospección y cateo que llevan a estimar unos 500 millones de metros cúbicos de arenas y gravas con un contenido aurífero económicamente explotable( 8 )

Ya que la explotación en estos ríos es hecha generalmente en una forma poco técnica, y debido a que es necesario determinar nuevas formas de explotación que sean técnicas y que produzcan menor contaminación al ambiente, se creyó práctico realizar este trabajo de tesis.

Encontramos que la separación magnética se la viene usando desde décadas atrás y se la usa en la actualidad en las más diversas industrias y hay diversos tipos de separadores especializados para cada requerimiento, como se explicó en el

### capítulo #3.

En la concentración de minerales estos separadores magnéticos se pueden usar en la recuperación de diamantes y tungsteno (4); en especial en menas que contengan rutilo, ilmenita y magnetita para la recuperación de titanio. En este caso la concentración arranca cerca de las 10 mallas y continúa sobre al menos las 200 mallas, se efectúa una concentración gravitatoria como paso previo a la concentración magnética y electrostática, luego se realiza una flotación de finos como proceso final para recuperar otros minerales como el circón (4).

De modo que el Separador Magnético puede ser usado en menas provenientes de terrazas donde el mineral útil se encuentre libre o no y donde por medio de otros métodos conocidos se pueda poner en forma de arena o gravas (forma granular) y donde por algún método gravitatorio de preconcentración se obtengan arenas negras enriquecidas en oro.

Aunque este trabajo de tesis se fundamentó en la recuperación de oro cuya importancia ya fue puesta de manifiesto anteriormente, se trabajó con un tipo de concentrado (negro) que contiene ilmenita y magnetita y por lo tanto aunque parcialmente e indirectamente sus resultados sirven también para la recuperación de titanio.

Hay que observar que se han establecido zonas de posible valor económico en el Litoral ecuatoriano en lo que se re-

fiere a arenas titaníferas ( 1 ).

Además dado que no se conocían medidas de los parámetros - funcionamiento del separador, este estudio da en forma a - aceptable valores para ellos; como, para la rata de aliment - tación, velocidad de rotación del cilindro, intensidad de corriente (campo magnético), posición de los divisores e - incluso se indica la influencia del tamaño de grano para - obtener rendimientos y tasas de concentración eficientes.

De hecho en este trabajo se utilizó arenas conteniendo oro del río PAUTE preconcentradas por medio de canalones dando lugar a arenas negras ricas en oro. En el capítulo #2 se - menciona la evaluación hecha a estas arenas que las califi - ca como rentables.

Al utilizar este método efectivamente se reduce o elimina la producción de dehechos nocivos al recuperar minerales, - siendo otra ventaja práctica pues elimina la necesidad de tomar medidas para evitar la contaminación ambiental.

Los resultados obtenidos (capítulo 7) indican que se llega a una concentración del material de hasta 8 veces la ley o - riginal con rendimientos mayores al 90%; con una capacidad de 65 lbs/h/pulg para un ancho del cilindro de 70 pulgadas y 4 horas de trabajo efectivo del separador se tratarían unas 18.2 Ton diarias de material, reduciéndolas a unas - 2.3 Ton de concentrado. Lo que indica que el separador mag - nético de cilindro inducido es una buena ayuda en el proce -

so .de concentración y separación de los minerales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### CONCLUSIONES

- 1.- A mayor velocidad de rotación del cilindro hay una mayor fuerza centrífuga y las partículas de oro viajan más lejos habiendo una mejor recuperación de oro.
- 2.- Desde  $160 \pm 4$  rpm de velocidad del cilindro, las partículas de oro llegan mayoritariamente al producto no magnético y se obtienen buenas recuperaciones conjuntas -  $(M_x + N_M)$  mayores al 90% .
- 3.- Bajo las  $78 \pm 4$  rpm de velocidad del cilindro los rendimientos conjuntos  $(M_x + N_M)$  son menores al 60% (con una dos excepciones).
- 4.- Para las  $78 \pm 4$  rpm del cilindro, el rendimiento conjunto y la tasa de concentración conjunta  $(M_x + N_M)$  disminuyen al aumentar la rata de alimentación, siendo esta - tendencia mayor en cuanto a la tasa de concentración. A esta velocidad a su vez el rendimiento disminuye al disminuir el tamaño de grano.
- 5.- Para velocidades de rotación del cilindro iguales o mayores a  $160 \pm 4$  rpm el rendimiento conjunto y la tasa de concentración conjunta se mantienen variando ligeramenu

te con tendencia a disminuir al aumentar la rata de alimentación.

- 6.- Para diferentes valores de velocidad del cilindro, se encontró que el rendimiento conjunto ( $M_x + N_M$ ) promedio para cada rata de alimentación disminuye al aumentar la rata de alimentación (siendo mejor para las 100 lbs/h/pulg.).
- 7.- Para ratas de alimentación altas (317 lbs/h/pulg.), la tasa de concentración es prácticamente constante para cualquier velocidad de rotación del cilindro.
- 8.- Para oro muy grueso (8-30 mallas ASTM) la tasa de concentración es prácticamente constante e independiente de la velocidad de rotación del cilindro y la rata de alimentación con que se opere, el separador, debido al pequeño porcentaje de magnéticos (25%) presente en esta fracción.
- 9.- Para oro de menor tamaño hay una ligera tendencia de la tasa de concentración a disminuir cuando aumenta la rata de alimentación, siendo esta tendencia mayor cuando la velocidad del cilindro es de 78 rpm.
- 10.- Al aumentar la corriente aumenta la cantidad de partículas magnéticas retenidas en el producto magnético, aunque con cierta contaminación de no magnéticos.
- 11.- Al aumentar la corriente mejora la tasa de concentraci

ón conjunta obtenida para cada tamaño de grano.

- 12.-Al aumentar la corriente disminuye el rendimiento conjunto ligeramente dependiendo de la velocidad del cilindro que se use.
- 13.-Al disminuir el tamaño de grano, aumenta la tasa de concentración conjunta, y a su vez disminuye el rendimiento conjunto, ligeramente. Esto se debe solo en parte al mayor porcentaje de magnéticos presente en las fracciones de menor tamaño.
- 14.-La rata de alimentación efectiva de 65 lbs/h/pulg (100 lbs/h/pulg) es el valor para el cual se obtienen mejores resultados en la concentración de oro (de los estudiados).
- 15.-De forma general las condiciones de trabajo para obtener excelentes resultados en esta concentración son:

$$i = 2.8 \text{ A}$$

$$R.A = 65 \text{ lbs/h/pulg.}$$

$$V.C = 210 \pm 4 \text{ rpm}$$

$$d_i = +5^\circ$$

$$d_e = +30^\circ$$

Con éstas condiciones se llega a los siguientes rendimientos y tasas de concentración conjuntas:

Tamaño de grano	Rendimiento Conj.	Tasa de C. Conj.
8-30	100	1.4
30-40	99	3.5

Tamaño de grano	Rendimiento Conj.	Tasa de C. Conj.
40-70	98	6.4
70-100	92	7.6
100-200	98	8.2



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

16.-Se ha cumplido con el alcance del estudio de dar (aunque parcialmente) la forma en que influyen estas variables en la eficiencia del separador y los valores óptimos para ésta.

17.-Todas las variables estudiadas.: velocidad de rotación del cilindro, rata de alimentación, corriente, tamaño de grano; influyen de alguna manera en la eficiencia del separador magnético de cilindro inducido.

18.-La tasa de concentración conjunta cuando la corriente es de 0.3 A no rebasa el, para corriente de 0.5A no llega a 4 para todos los tamaños de grano y para 2.8 A aumenta más rápidamente a medida que disminuye el tamaño de grano llegando a 8.

## RECOMENDACIONES

1.- EL material de que está hecho el alimentador del separador debe ser preferiblemente de un material no metálico para evitar el taponamiento del concentrado en la salida del alimentador.

2.- Aislar el separador magnético de forma que no haya fugas del concentrado durante su funcionamiento (con ma-

teriales no magnéticos).

- 3.- Realizar pruebas con valores de velocidad de rotación del cilindro mayores a 210 rpm, para observar si se evita completamente la contaminación de no magnéticos - en el producto magnético.

El siguiente cuadro explica de mejor forma el comportamiento de los parámetros de funcionamiento del separador, aunque en forma general.

	Rendimiento	Tasa de Concentr.
↑ Velocidad de Rotación del cilindro	>>	<
↑ Rata de alimentación	<	<
↑ Corriente	<	>>
↓ Tamaño de grano (excepto para 8-30 mallas).	<	>>

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- AGUAYO, DEL GRECO, ERAZO, GALLARDO. Seminario de tratamiento y enriquecimiento de minerales. Guayaquil-ESPOL Departamento de Ingenieria de Geología, Minas y Petróleo. 1982; pp. 179.
- 2.- BRISTOW C., HOFFSTETTER R. Lèxique Stratigrafique International, Vol V. Amérique Latina Fasc. 5 a 2, Ecuador. CNRS, Paris 1977; pp.201 y 272.
- 3.- CARPCO, INC. Operating Instructions High-Intensity Induced-Roll Magnetic, Separator Laboratory Model MIH(13)111-5. Sala Italiana .Génova, Febreo 1984;pp. 2-7.
- 4.- DENVER EQUIPMENT COMPANY. Mineral Processing Flowsheets. pp. 182-183.
- 5.- EGUEZ ALAVA HUGO. Evaluación de terrazas auríferas, sector Chingananza-Cantón Méndez, Provincia de Morona-Santiago. Informe Técnico. Guayaquil, 1989;pp. 1-12.
- 6.- HALLIDAY-RESNICK. Física. Parte II. C.E.C.S.A. México. Febrero 1981;pp. 1302-1308 y 1312-1318.
- 7.- MAC. MILLAN JUAN A. Paramagnetismo Electrónico. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. De

partamento de asuntos científicos. Secretaria General de la OEA. pp. 5-9.

- 8.- RENGEL ESPINOZA JORGE O. Desarrollo Nacional de la Minería Ecuatoriana. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 1985; pp. 36 y 89.
- 9.- Weiss N.L. SME., Mineral Processing Handbook, "Electrostatic and Magnetic Separation". Weiss Ed. New York, - 1985; pp. (6-16)-(6-35).