

1  
Zejen



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

"TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA  
MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN  
CELDA Y COLUMNA".

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA

**p r e s e n t a**

**ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ**



**FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO, D. F.**

**1995**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-055

**SR. ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ**  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Francisco Javier Reyes Carmona, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero de minas y metalurgista:

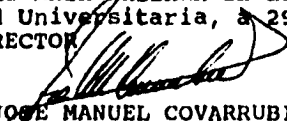
**TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN  
(SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA**

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES**
- III MARCO TEORICO**
- IV DISEÑO, CONSTRUCCION Y COSTO DE UNA COLUMNA DE FLOTACION PARA LABORATORIO**
- V PRUEBAS DE LABORATORIO**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 29 de julio de 1993.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*EGLM\*gggt\*

**DEDICO ESTA TESIS A:**

**MI ESPOSA CLAUDIA ESTELA**

**A MIS PADRES SACRAMENTO Y AMELIA.**

## INDICE

	Página
<b>INTRODUCCION:</b>	<b>1</b>
<b>I) GENERALIDADES</b>	
I.1) Localización	4
I.2) Vías de comunicación y servicios	4
I.3) Clima, flora y fauna	6
I.4) Geología	6
I.4.1) Litología	6
I.4.2) Geología estructural	7
I.4.3) Mineralización y génesis	8
I.5) Mina	9
I.5.1) Características de diseño	9
I.5.2) Programa de producción	10
I.5.3) Principales equipos de mina	10
I.5.4) Comentarios operativos	11
I.6) Planta de beneficio	11
I.6.1) Sección de trituración y homogenizado	11
I.6.2) Sección de molienda y concentración magnética	12
I.6.3) Eliminación de colas en línea común	13
I.6.4) Tratamiento del concentrado en línea común	13
I.6.5) Características de producción del concentrado	14
I.6.6) Comentarios operativos	14
<b>II) MARCO TEORICO</b>	
II.1) Principios de flotación de minerales	16
II.1.1) Fenómenos de mojado y ángulo de contacto	17
II.1.2) La doble capa electroquímica	20
II.1.3) Flotación de minerales	22
II.1.3.1) Flotación con colectores que se adsorben físicamente	23
II.1.3.2) Flotación por adsorción química del colector	25
II.2) Principales parámetros de control en las columnas	26
II.2.1) Descripción de la columna	26
II.2.2) Aire	26
II.2.3) Cama de espuma	28
II.2.4) Flujo de alimentación	28

**INDICE ( ...CONTINUACION )**

	Página
II.2.5) Densidad de flujo corregida ( bias )	30
II.2.6) Dosificación de espumante	30
II.2.7) Agua de lavado	30
II.3) Flotación de minerales de óxidos de fierro	32
II.4) Diseño factorial, análisis de varianza y validez experimental	35
II.4.1) Normalidad de residuos	37
II.4.2) Independencia estadística	37
II.4.3) Varianza constante	38
II.4.4) Efectos principales	38
II.5) Análisis de Regresión	39
<b>III) DISEÑO, CONSTRUCCION Y COSTO DE UNA COLUMNA DE FLOTACION A NIVEL LABORATORIO.</b>	
III.1) Diseño y construcción de la columna de flotación	42
III.1.1) Modulos de altura de la columna	44
III.1.2) Empaques y tornillos	44
III.1.3) Soportes	44
III.1.4) Dispersores de aire	45
III.1.5) Agua de lavado y zona de recolección de espuma	46
III.1.6) Alimentación de la pulpa a la columna	46
III.1.7) Descarga de pulpa contenida en la columna	46
III.1.8) Tanque de alimentación a la columna y nivel de interfase	47
III.1.9) Tanque de acondicionamiento	48
III.1.10) Bombeo de la pulpa	48
III.2) Costo de una columna de flotación a nivel laboratorio	48
III.3) Costo de los materiales usados para la construcción de la columna	50
<b>IV) PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	
IV.1) Caracterización mineralógica	52
IV.2) Preparación del mineral	52
IV.3) Molienda	53
IV.4) Concentración de óxidos de fierro por flotación inversa en celda	55
IV.5) Análisis de resultados en celda	58
IV.5.1) Por Discriminación	58

**INDICE ( ... CONTINUACION )**

	Página
IV.5.2) Análisis de resultados ocupando el método que reporta Dorenfeld.	62
IV.5.3) Análisis de resultados en celda por diseño de experimentos.	62
IV.5.3.1) Análisis de ley en el concentrado de fierro	62
IV.5.3.2) Análisis de recuperación en el concentrado de fierro	62
IV.5.4) Análisis de resultados en celda por Superficies de Respuesta	70
IV.5.5) Regresión lineal múltiple	75
IV.6) Concentración de óxidos de fierro por flotación Inversa en columna	75
IV.7) Análisis de resultados en columna	77
IV.8) Comentarios	88
<b>V) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
V.1) Conclusiones	93
V.2) Recomendaciones	94
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	95
Anexo 1 Algoritmo de Yates	96
Anexo 2 Tablas Fo	98
Anexo 3 Correlaciones de los resultados de las pruebas A y B en celda.	104
Anexo 4 Cálculo de los coeficientes para los modelos matemáticos	107
Anexo 5 Programa en GWBASIC para cálculo usado por Dorenfeld	110
Anexo 6 Resultados para sílice, azufre, y por ciento en peso del concentrado de fierro.	119

## INDICE DE CUADROS

NUMERO	CUADRO	PAGINA
1	Resumen de los parámetros de las variables y valores obtenidos.	3
2	Puntos de carga cero de algunos minerales.	21
3	Distribución de especies de amina en solución...	23
4	Costo de los materiales usados para la construcción de una columna de flotación.	50
5	Distribución de bolas para un molino de laboratorio de 19 x 19 cm.	53
6	Combinación de variables.	57
7	Resultados de las pruebas de flotación en celda convencional.	59
8	Cálculo de ley de fierro por el método usado por Dorenfeld.	84
9	Cálculo de Recuperación de fierro por el método usado por Dorenfeld.	85
10	Algoritmo de Yates para una corrida de 16 experimentos. ( Ley de fierro )	66
11	Algoritmo de Yates para una corrida de 16 experimentos. ( Recuperación de fierro ).	73
12	Resultados de las pruebas en columna de flotación.	87
13	Tabla comparativa de resultados obtenidos en celda contra columna.	87
14	Influencia de las variables de flotación.	93
15	Puntos porcentuales de la distribución Fo. ( F 0.25, V1 V2)	99
16	Puntos porcentuales de la distribución Fo. ( F 0.10, V1 V2)	100
17	Puntos porcentuales de la distribución Fo. ( F 0.05, V1 V2)	101
18	Puntos porcentuales de la distribución Fo. ( F 0.025, V1 V2)	102
19	Puntos porcentuales de la distribución Fo. ( F 0.010, V1 V2)	103
20	Cálculo de coeficientes para los modelos matemáticos.	108
21	Resultados de ley de sílice por el método usado por Dorenfeld.	120
22	Resultados de ley de azufre por el método usado por Dorenfeld.	121
23	Resultados en % en peso del concentrado por el método usado por Dorenfeld.	122



## INDICE DE ECUACIONES

NUMERO	ECUACION	PAGINA
1	Ecuación de Young-Dupre.	17
2	Ecuación de energía libre de Gibbs en la flotación.	18
3	Ecuación combinada de la 1 y 2.	18
4	Modelo matemático general para obtener una respuesta esperada.	39
5	Modelo matemático general en "n" ecuaciones.	40
6	Modelo matemático general en forma matricial.	40
7	Modelo matemático general en forma matricial desglosado.	40
8	Función suma de cuadrados.	40
9	Función suma de cuadrados en forma matricial.	41
10	Conjunto de "p" ecuaciones como estimadores de los coeficientes.	41
11	Matriz cuadrada del sistema de ecuaciones.	41
12	Coefficientes del modelo de forma general.	41
13	Modelo matemático para la ley del concentrado de hierro.	84
14	Modelo matemático para recuperación en el concentrado de hierro.	84

## INDICE DE FIGURAS

NUMERO	FIGURA	PAGINA
1	Localización de la planta concentradora	5
2	Diagrama de flujo de planta concentradora	15
3	Representación esquemática de la adhesión de una burbuja...	19
4a	Representación esquemática de la estructura de la doble capa electroquímica	24
4b	Variación del potencial eléctrico con la distancia	24
5	Diagrama de distribución de especies para una solución de amina...	24
6	Flujos básicos en la columna de flotación	27
7	Ley/Recuperación como una función del gasto de aire...	29
8	Volumen desplazado por el aire como una función del gasto de gas...	29
9	Recuperación de mineral en la espuma en función del espesor de espuma...	29
10	Peso de mineral en el concentrado en función del mineral alimentado...	29
11	Efecto del valor del bias en el agua del concentrado...	31
12	Efecto del espumante en el volumen ocupado por el aire dentro de la columna.	31
13	Ilustración del efecto del tamaño de burbuja con la adición de espumante.	33
14	Efecto del agua de lavado respecto a tres valores...	33
15	Curva Ley/Recuperación del concentrado respecto al agua de lavado.	33
16	Vista general de la instalación de la columna de flotación.	43
17	Diagrama de flujo del tratamiento del mineral en laboratorio...	54
18	Distribución granulométrica de la cabeza del mineral.	56
19	Ley de fierro en el concentrado, flotación convencional.	61
20	Recuperación en concentrado de fierro, flotación convencional.	63
21	Normalidad de residuos para ley del concentrado de fierro.	68
22	Independencia estadística para ley en el concentrado de fierro.	69
23	Análisis de varianza para ley en concentrado de fierro.	70
24	Determinación de efectos principales para ley de concentrado de fierro.	71
25	Normalidad de residuos para recuperación de fierro.	75
26	Independencia estadística para recuperación de fierro.	76
27	Análisis de varianza para recuperación de fierro.	77
28	Determinación de efectos principales para recuperación del concentrado de fierro	78
29	Superficie de respuesta para ley en el concentrado con uso de ácido grasoso...	79
30	Superficie de respuesta para recuperación en el concentrado con el uso de ácido grasoso...	80
31	Superficie de respuesta para ley en el concentrado con el uso de amina...	81
32	Superficie de respuesta para recuperación en el concentrado con el uso de amina...	82
33	Distribución de valores.	89
34	Distribución granulométrica. (% en peso acumulado)	90
35	Distribución granulométrica. ( Gráfica de barras )	91
36	Algoritmo de Yates para una corrida de 16 experimentos.	97
37	Correlación de resultados de ley de fierro en concentrado de fierro.	105
38	Correlación de recuperaciones de fierro en el concentrado de fierro.	106

## INTRODUCCION

La Unidad Siderurgica SICARTSA recupera hierro a partir de magnetita y hematita por el proceso de concentración magnética. Uno de sus yacimientos de la unidad El Volcán se caracteriza por su forma irregular y por tener en sus minerales de mena hematitas supergénicas en un 32.0 %, los cuales debido a su baja susceptibilidad magnética tienen recuperaciones pobres por éste método de concentración.

El objetivo de esta tesis fue el conocer el comportamiento del mineral del yacimiento El Volcán durante su flotación en celda y columna. Para lograrlo se evaluaron parámetros preestablecidos en celda convencional mediante herramientas de diseño experimental, tomando como base los resultados de ley y recuperación del hierro total. Se complementó este trabajo con corridas experimentales en columna de flotación a nivel laboratorio.

**PRIMER CAPITULO:** Comprende la caracterización mineralógica del yacimiento, el cual está constituido principalmente de hematita supergénica y de magnetita como mineral de mena, acompañado de sulfuros de hierro, granate, epidota, bornita, clorita y calcita, como minerales principales constituyentes de la ganga.

El sistema de explotación de la mina El Volcán es a tajo abierto, usando bancos de 13 m de altura, con programa de producción es de 20'000 000 toneladas anuales distribuidas en 17% de hematita, 15.5 % de magnetita y 67.5 % de tepetate.

En la planta concentradora SICARTSA se prepara de manera mecánica al mineral procedente de mina y se separan selectivamente los minerales de mena de los de ganga por el método de concentración magnética. La planta concentradora recibe mensualmente de mina 185,000 toneladas de mineral, con leyes medias de 49.7% de hierro total, 36.1 % de hierro magnético, 14% de sílice y 2.3 % de azufre. Los concentrados son enviados a la planta peletizadora de SICARTSA y los minerales de ganga son depositados estratégicamente en una presa de jal. La producción mensual de concentrado es de 110,408 toneladas con leyes medidas de 65.74% de hierro total, 55.2% de hierro magnético, 3.2% de sílice y 0.37% de azufre. Las recuperaciones medias del proceso de concentración son de 80.69% de hierro total y 91.26% de hierro magnético.

**SEGUNDO CAPITULO:** Incluye un marco teórico sobre: a) los principios de flotación de minerales, b) principales parámetros de control en las columnas, c) diseño factorial, análisis de varianza y validez experimental, y d) análisis de regresión.

**TERCER CAPITULO:** Describe un procedimiento de construcción y costo de una columna de flotación a nivel laboratorio.

**CUARTO CAPITULO:** Incluye el proceso experimental utilizado, mediante caracterización mineralógica, preparación del mineral, molienda y concentración de óxidos de hierro por flotación inversa en celda. De este último se dan parámetros preestablecidos como son: dos tiempos de flotación a 1 y 2 minutos, como regulador de pH se usó cal hidratada a valores de 7 y 9, las concentraciones de colector evaluadas son de 225 g/ton y 450 g/ton y como colectores se usaron Ácido Graso Hercomin B-09 (Colector de tipo aniónico) y la Amina KATAX BO-4632 (Colector de tipo catiónico). Los parámetros y valores de los mejores resultados se presentan en el cuadro No. 1.

Los resultados experimentales obtenidos en celda se analizan por: a) Discriminación, b) Análisis de varianza por suma de cuadrados (Dorenfeld) y por algoritmo de Yates (González) y c) superficies de respuesta; incluyendo además análisis de regresión.

**MODELO MATEMATICO PARA LA LEY DEL CONCENTRADO DE FIERRO (YL).**

$$YL = 49.05 + 0.4606 (\text{Tiempo de flotación}) - 0.7556 (\text{pH}) + 0.2606 (\text{Concentración de colector}) + 0.4569 (\text{Tipo de colector})$$

$$\text{Factor de correlación} = 0.8927$$

**MODELO MATEMATICO PARA LA RECUPERACION DEL CONCENTRADO DE FIERRO (YR).**

$$YR = 89.365 - 1.8212 (\text{Tiempo de flotación}) + 3.0569 (\text{pH}) - 1.4456 (\text{Concentración de colector}) - 3.4131 (\text{Tipo de colector})$$

$$\text{Factor de correlación} = 0.9689$$

Finalmente se evalúa en columna los mejores resultados tanto para ley como para recuperación y parámetros intermedios entre ley y recuperación, haciendo la comparación contra lo obtenido en celda convencional (Cuadro No. 1)

**QUINTO CAPITULO:** Se describen las conclusiones y recomendaciones.

**CUADRO No. 1 Resumen de los parámetros de las variables y valores obtenidos.**

CONCEPTO	METODO DE ANALISIS DE RESULTADOS		
	DISCRIMINACION	ANALISIS DE VARIANZA	SUPERFICIES DE RESPUESTA
<b>PARA MEJOR LEY EN EL CONCENTRADO DE FIERRO</b>			
TIEMPO DE FLOTACION (MINUTOS)	2	2	2
pH	9	7	7
CONCENTRACION DE COLECTOR (g/Ton.)	450	NO SIGNIFICATIVA	450
TIPO DE COLECTOR	AMINA	AMINA	AMINA
<b>EN CELDA</b>			
LEY (% FIERRO)	50.75	50.44	50.44
RECUPERACION (%)	83.3	79.3	79.3
<b>EN COLUMNA</b>			
LEY (% FIERRO)	51	51.5	51.5
RECUPERACION (%)	93.88	94.57	94.57
<b>PARA MEJOR RECUPERACION EN EL CONCENTRADO DE FIERRO</b>			
TIEMPO DE FLOTACION (MINUTOS)	1	NO SIGNIFICATIVA	1
pH	9	9	9
CONCENTRACION DE COLECTOR (g/Ton.)	225	NO SIGNIFICATIVA	450
TIPO DE COLECTOR	AMINA	ACIDO GRASO	ACIDO GRASO
<b>EN CELDA</b>			
LEY (% FIERRO)	47.14	47.14	47.14
RECUPERACION (%)	97.03	97.03	97.03
<b>EN COLUMNA</b>			
LEY (% FIERRO)	46.4	46.4	46.4
RECUPERACION (%)	100	100	100

- a) - En todos los casos se considera ensayo de fierro total.
- b) - Las pruebas fueron realizadas a partir de una cabeza mineral de 46.3 % de fierro.
- c) - Se observa favorecida la ley en el concentrado de fierro de forma global cuando : a) Tiempo de flotacion es de 2 minutos, b) El pH usado es de 7, c) La concentración del colector es de 450 g/Ton. y d) Es usada amina como colector.
- d) - La columna de flotación comparada con celda muestra mejor ley y recuperación en el concentrado de fierro.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ</b>	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
CUADRO No. 1	1985

## **I) GENERALIDADES**

### **I.1) LOCALIZACION**

La Unidad Siderúrgica "SICARTSA" se encuentra localizada al sur de la sierra del Espinazo del Diablo, ubicada en la parte sureste del estado de Michoacán, cercano a los límites con el estado de Guerrero sobre la planicie costera del Pacífico; sus coordenadas geográficas son:

Latitud Norte 18° 03'

Longitud Oeste 102° 22'

La unidad se encuentra cercana a la Ciudad de Lázaro Cárdenas y sus yacimientos ferríferos de "Las Truchas" se encuentran al NE, a 25 km distantes de la Cd. de Lazaro Cardenas y cercanos a la población de La Mira ( figura No. 1 ).

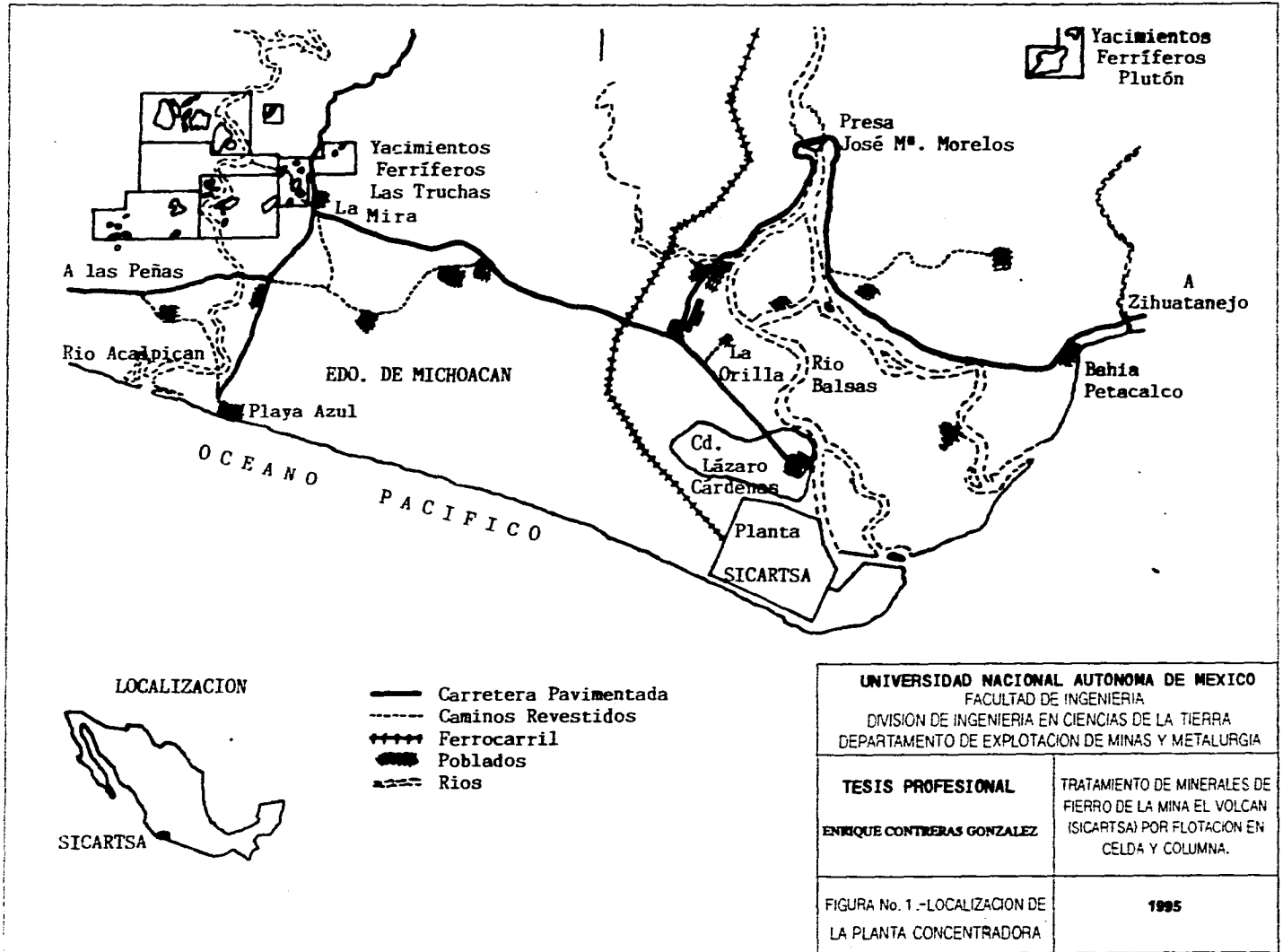
### **I.2) VIAS DE COMUNICACION Y SERVICIOS**

La planta siderúrgica SICARTSA esta comunicada con la población La Mira por la carretera federal N° 37 de Playa Azul-Uruapan-Morelia. Al SE se comunica la Ciudad de Lázaro Cárdenas con Zihuatanejo y Acapulco, Gro. por la carretera federal N° 200, esta misma comunica al NW con la Cd. Tecoman, Col. y de aquí se puede llegar a Colima, Col. por la carretera federal N° 110.

Se cuenta con servicio ferroviario nacional Uruapan-Nueva Italia-Lázaro Cárdenas y con vuelos regulares de la Cd. de México a la Cd de Lázaro Cárdenas.

El servicio marítimo se efectúa utilizando las instalaciones portuarias de la Cd. de Lázaro Cárdenas, localizada en la desembocadura del río Balsas.

Además se cuenta con servicios telefónicos, telegráficos y de correos.



### **I.3) CLIMA, FLORA Y FAUNA**

El clima en el área de acuerdo a la clasificación de Köepen, considera la localidad como caliente y húmeda, con larga temporada seca. La temperatura media anual es de 27 grados centígrados, con oscilación media anual de 4 grados. En el mes de mayo la oscilación media diaria de temperatura es de 16 grados. La temperatura mínima extrema es de +10 grados centígrados y la temperatura máxima extrema es de +40 grados centígrados.

La precipitación total anual prevalece en 900 mm promedio, con una variación de 20 puntos.

La flora pertenece a la división caribeña de tipo bosque tropical caducifolio de clima cálido y dominado por especies arborescentes que pierden sus hojas año con año. También predominan árboles frutales como cocoteros, papayos, mangos, guanabanas, nanches, etc.

La fauna es muy variada y se tienen especies como venados, jabalí, varios tipos de roedores, reptiles y arácnidos. Por su colindancia con el océano Pacífico se menciona entre la fauna marina al robalo, huachinango, tortuga marina y gran variedad de peces. La pesca de algunos de ellos ayudan al soporte económico del lugar.

### **I.4) GEOLOGIA**

#### **I.4.1) LITOLOGIA**

El paisaje regional observable, se encuentra constituido en su mayor parte por formas topográficas arredondadas de poca elevación, con algunas pendientes abruptas, las cuales fueron originadas por diferentes grados de resistencia a la erosión, así como por el intemperismo presentado por las unidades litológicas. ( Calderón J., 1985 ).

De acuerdo con el proceso erosional, existen cimas que ocupan elevaciones más o menos uniformes que varían entre 200 y 300 msnm, siendo por lo general las partes más altas donde se encontraban los afloramientos del mineral de hierro. Los tipos litológicos locales presentes en el área, se encuentran comprendidos geocronológicamente en un periodo que abarca desde el terciario hasta el reciente. La mayor parte de las rocas corresponde al sistema terciario, donde predominan las rocas ígneas como dioritas, granodioritas, tonalitas, pórfidos



andesíticos, pórfidos dacíticos y rocas metamórficas como skarn, skarn de granale (andradíta), epidota y hornfels; principalmente. Los pórfidos andesíticos predominan en la mayor parte del yacimiento y los pórfidos dacíticos y basaltos tienen un comportamiento muy irregular en relación con la mineralización de hierro.

El yacimiento mineral está incluido dentro del terciario, habiendo sido intrusionado por diques de basalto y aplita, que presentan alteraciones tales como argillización y sericitación, de dimensiones muy variables y de comportamiento irregular. Existe mineral hematítico en forma de rodado y es posterior a las demás rocas por lo que se le considera cuaternario. ( Torres J.M., 1989 ).

#### **1.4.2) GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

En el distrito ferrífero de Las Truchas existen dos lineamientos estructurales bien definidos, relacionados con la ocurrencia de los yacimientos minerales:

Al norte la zona más importante, tiene una dirección NW y comprende los yacimientos "El Leopardo", "La Bandera", "Santa Clara", "El Mango", "El Volcán" "El Cayaco" y "La Aparecida".

Al sur la segunda zona en importancia, tiene una dirección SW, e incluye los depósitos "El Tubo", "El Venado", "Valverde", "Los Abillales", "Ferrotepec" y "El Colomo".

La intersección con ambas líneas estructurales, se localiza al oriente del poblado de La Mira.

Las estructuras que sobresalen en el área de estudio, fueron originadas por eventos tectónicos del terciario (paleoceno-oligoceno). Se puede apreciar que el fallamiento está regido por tres sistemas, donde dos presentan mayor importancia ya que sus fallas normales son muy marcadas y de gran magnitud, las que por efectos de tensión dieron origen a una fosa tectónica, localizada en la parte norte del yacimiento El Volcán.

El rumbo preferencial del primer sistema es de NNW-SSE; un segundo NE-SW el cual predomina ya que éste es el rumbo que adoptan los remanentes de mineral (magnetita principalmente) inclusive a profundidad.

Un tercer sistema de fallas y fracturas, con orientación ENE-WSW, lo presentan algunos diques de apilita formando contactos con el mineral. Es posible que este sistema haya sido formado por efectos de compresión posteriores a los sistemas pre-existentes.

#### **1.4.3) MINERALIZACION Y GENESIS**

El yacimiento El Volcán se caracteriza por ser de forma irregular, además de que sus minerales de mena están constituidos por hematita supergénica en un 32 % y por magnetita en un 68 %. En la hematita se observan pequeñas vesículas producidas por la lixiviación de los sulfuros de hierro, mientras que la magnetita se encuentra constituida por agregados microcristalinos de color negro azulado y brillo metálico; contiene impurezas de sulfuros de hierro no mayores al 5% y presenta trazas de fósforo. Los minerales de ganga están representados por granate, epidota, pirlita, calcopirlita, bornita, clorita y calcita. En las partes superiores del cuerpo se observa como la oxidación ha afectado a los sulfuros de hierro formando limonita.

La mineralización en el área fue originada por procesos de metasomatismo en relación con metamorfismo ígneo, los que se forman a temperaturas variables de 400 a 800 grados centígrados, por lo que es evidente que los procesos genéticos que dieron lugar a la formación del yacimiento, estuvieron relacionados íntimamente con la intrusión de un magma de tipo félsico a intermedio en calizas y depósitos volcánicos.

Los efectos que produjo el intrusivo en las unidades litológicas mencionadas, fue la descarbonatación y eliminación de dióxido de carbono en las calizas, a causa de las temperaturas del mismo y la formación de minerales silíceos tales como granate y epidota que a su vez produjeron rocas como skarns y hornfels. Estas rocas forman una aureola metamórfica constituida por una zona interior cercana al intrusivo, representada por hornfels y anfibolitas; otra intermedia de skarn de granate y epidota; finalmente una zona periférica formada por lentes de caliza recristalizada. De acuerdo al origen de formación los minerales se pueden clasificar en :

**Hipogénicos como: Magnetita, Pirlita, Epidota, Clorita, Calcopirlita y Granate.**

**Supergénicos como: Hematita, Limonita y Gohetita.**

## **I.5) MINA**

### **I.5.1) CARACTERISTICAS DE DISEÑO**

Los trabajos de exploración del yacimiento El Volcán incluyeron: Magnetometría general, elaboración de mapas topográficos, estudios de geología de superficie y subsuelo, así como geología estructural complementados por una campaña intensiva de perforación a diamante. Esta campaña consistió en la perforación de 65 barrenos con un total de 11,026 m adicionales a la información recabada de 23 barrenos con un total de 1,887 m. Las recuperaciones alcanzadas en la perforación a diamante fueron de un 77 %. La interpretación litológica y muestreos quedaron detallados en 128 registros, así como en 36 secciones verticales y 56 secciones horizontales.

El cuerpo mineral de la mina El Volcán se caracteriza desde su cima hasta su base (aproximadamente 250 m) por estar constituido de numerosos cuerpos lenticulares aislados, dentro de la roca encajonante. Sin embargo, en su parte media, tiende a formar cuerpos mayores de contornos irregulares, posteriormente estos se unen en uno solo y en su terminación en pequeños lentes aislados.

Debido a la forma y a la naturaleza del depósito mineral, se determinó el sistema de minado con técnicas convencionales de explotación a cielo abierto, usando bancos de 13 m de alto, con pendientes en las rampas de acarreo de 8.5 %, el ancho de los caminos es de 10 m mínimo y el de las rampas es de 20 m.

Con objeto de determinar el ángulo final del tajo se tomaron muestras representativas de la roca para ser sometidas a pruebas de mecánica de rocas, de acuerdo a los resultados de estas pruebas se calculó el talud de la mina de 52 a 56 grados, dependiendo de la calidad de la roca, encontrándose mejores características de competencia a profundidad. El talud de terminación será de 70 grados.

En barrenación se utiliza un espaciamiento entre barrenos de 6.9 m en tepetate y 5 m en mineral, la distancia al bordo es de 5.25 m en tepetate y 3.8 m en mineral. La ley mínima de corte es de 34.5 % de fierro magnético.

### **I.5.2) PROGRAMA DE PRODUCCION**

El programa de producción de SICARTSA tiene como meta producir 20'000,000 de toneladas anuales, las cuales están distribuidas en; 17 % de hematita, 15.5 % de magnetita y 67.5 % de tepetate. Su extracción tiene una relación de descapote aproximada de 2:1 y dependiendo de los porcentajes de mineral-tepetate suele variar la relación de descapote de 1.5:1 hasta 3.3:1. El programa de extracción de mineral "todo uno" con proyección al año 2006, contemplando las reservas minables a la fecha e incluyendo la hematita almacenada en metalera completa 106,592 millones de toneladas. Considerando unicamente las reservas minables de magnetita, la cifra disminuye a 82,954 millones de toneladas.

La cantidad de mineral requerida para el año 1991 de minas para planta concentradora es de 2.738 millones de toneladas de mineral, con lo que produciría 1.69 millones de toneladas de pellets. A partir del año 1992 se considera un incremento en la producción de pellets de 0.5 millones de toneladas, aumentando en 1993 a 1.8 millones de toneladas y finalmente se estabiliza del año de 1995 al 2006 en 2.92 millones de toneladas; esto es debido al arranque de planta SICARTSA II.

### **I.5.3) PRINCIPALES EQUIPOS DE MINA**

En barrenación se emplean 4 perforadoras rotarias T-5 Ingersoll-Rand, las cuales llegan a barrenar hasta 2'540,000 toneladas mensuales. Las perforadoras están montadas en camiones móviles de tres ejes, combustión diesel, el mástil tiene una altura de 6 m y mediante la unión de tres segmentos de barrenación se da una longitud final a los barrenos de 15 m, de los cuales 1.5 son de sub-barrenación. El diámetro de los barrenos perforados es de 9" (228 mm) dado por las brocas tricónicas.

El equipo de carga utilizado consta de 4 cargadores Caterpillar tipo 992-C con capacidad de cucharón de 10.4 m<sup>3</sup> cúbicos, tres cargadores frontales Caterpillar tipo 988-B, con capacidad de 8 m<sup>3</sup> cúbicos, 2 palas Demag retro tipo H-185 con capacidad de cucharón de 12 m<sup>3</sup> cúbicos, 1 pala Komatsu retro tipo PC-1600 con capacidad de cucharón de 12 m<sup>3</sup> cúbicos y una pala Demag retro tipo H-121 con capacidad de cucharón de 10 m<sup>3</sup> cúbicos.

El equipo de acarreo está integrado por una flotilla de 32 camiones Euclid, 22 de ellos con capacidad de 85 toneladas y los restantes de 50 toneladas.

El equipo auxiliar esta integrado por 7 tractores topadores, dos motoconformadoras y tres pipas de riego; principalmente. Estos fundamentalmente se encargan de la limpieza de las áreas de ataque de las palas, sitios de descarga del material, nivelación, limpieza de pisos y bancos, y a la construcción de rampas y caminos de acarreo.

#### **1.5.4) COMENTARIOS OPERATIVOS**

La forma y ocurrencia de los cuerpos minerales, ha sido determinada a detalle por medio de los trabajos geológicos anteriormente descritos, determinando la estimación de la vida de la mina y su ritmo de producción. Interpretaciones erróneas que sobre-estimen las reservas ocasiona un mayor riesgo sobre la recuperación de las inversiones.

El sistema de explotación de SICARTSA es a tajo abierto y tiene entre sus ventajas el producir mayor volumen de mineral a un menor costo, esto se debe principalmente a la baja relación de descapote y a la posibilidad de operar equipo de gran capacidad.

Mina se complementa con la participación de otros departamentos como son; Geología, Ingeniería y Planeación, Mantenimiento, Seguridad y Relaciones Industriales.

El cliente inmediato de mina es la planta de beneficio a quien entrega el mineral bajo ciertas especificaciones de calidad, como son: tonelaje, tamaño máximo del mineral, humedad, leyes alimentadas y que no lleve piezas metálicas o basuras.

#### **1.6) PLANTA DE BENEFICIO**

##### **1.6.1) SECCION DE TRITURACION Y HOMOGENIZADO**

El proceso de preparación mecánica se inicia en la trituración primaria. El material alimentado a la quebradora giratoria de campana Nordberg ( primaria ), tiene un tamaño máximo de alimentación de 36". A su vez la quebradora primaria esta provista de un martillo hidráulico, que es utilizado cuando se recibe en la alimentación de la quebradora rocas de tamaño mayor a 36".

La quebradora primaria descarga el material a un tamaño menor de 7", y por medio de las bandas transportadoras de 36" de ancho, hace llegar el material a trituración secundaria.

En trituración secundaria se recibe el material a -7" y es reducido por medio de dos quebradoras Nordberg de cono cabeza corta, a un tamaño de -2 1/2". Este mineral es enviado por medio de las bandas transportadoras al apilador longitudinal, el cual en dos patios, forma en sus recorridos, pilas alargadas con capacidad de 50,000 toneladas cada una. Aquí el mineral se homogeniza para evitar variaciones considerables en la ley de fierro y de sus impurezas.

El material repartido en pilas largas es levantado por el recogedor de tambor, depositando a su vez el material sobre una banda transportadora transversal. Esta comunica con una serie de bandas que hacen llegar el material hasta trituración terciaria, que se sitúa contigua a la planta de concentración.

El material aquí triturado en circuito cerrado queda ahora con tamaño máximo de 15 mm, con ley media de 49.5 % de fierro total y constituye la alimentación a la planta concentradora, la cual fue diseñada para concentrar mineral incluso de 45 % de fierro total.

#### **I.6.2) SECCION DE MOLIENDA Y CONCENTRACION MAGNETICA**

La planta consta de dos líneas de molienda y concentración idénticas, terminando en una línea común en la parte de tratamiento del concentrado y eliminación de colas (fig. No. 2).

Cada línea tiene capacidad para recibir 190 t/h de mineral homogenizado y reducido a -15 mm, que es entregado por dos alimentadores tipo banda de velocidad variable, los que descargan en un transportador de banda con pesador continuo integrado, cumpliendo éste tres funciones; a) medir la cantidad de mineral entregado a cada molino de barras, b) controlar la velocidad de los alimentadores y c) controlar el agua alimentada al molino, mediante una válvula solenoide. Por cada línea se tiene un molino de barras de 3.8 m X 5.0 m, con motor de inducción de 900 kW y 900 RPM, con blindajes de acero - manganeso.

El tamaño del mineral de descarga de cada molino de barras es de -1mm, y constituye una pulpa que es bombeada hacia un distribuidor de pulpa con seis compartimientos. Las seis salidas de los compartimientos alimentan dos separadores magnéticos de tambor tipo concurrente, que operan en paralelo; cada uno tiene dos tambores de 915 X 2440 mm (36" X 96"), con imanes permanentes dando un campo magnético de 900 Gauss ( 0.09 Teslas ) a 50 mm. El preconcentrado entregado por los separadores magnéticos alimenta por gravedad en cada línea a un molino de bolas de 4.6 X 8.6 m, con motor de inducción de 2500 kW y 900 RPM, con recubrimiento interior de hule.

Este molino opera en circuito cerrado con una carga circulante de 250 %; la pulpa producida es bombeada por dos bombas a dos grupos con cuatro hidrociclones cada uno, de 525 mm de diámetro. Un grupo de hidrociclones corresponde para cada bomba.

La descarga gruesa de los hidrociclones es recirculada por gravedad al molino de bolas, en tanto que el rebose que representa la fracción de menos de 100 micrómetros (-150 Mallas), cae por gravedad a un distribuidor de pulpa con nueve compartimientos y salidas, que a su vez alimenta a tres separadores magnéticos de tambor de 915 X 2740 mm, con imán permanente, dando un campo magnético de 900 Gauss ( 0.09 Teslas ) a 50 mm.

### **1.6.3) ELIMINACION DE COLAS EN LINEA COMUN**

Las colas provenientes de los separadores magnéticos primarios pasan en cada línea por un cono sedimentador de arenas de 5 m de diámetro y diseñado para dar un derrame de menos de 75 micrómetros (200 mallas), mientras que la descarga de ambos conos pasan a dos hidrociclones de 525 mm de diámetro que separan a 250 micrómetros (60 mallas). El derrame de los conos y de los hidrociclones, junto con las colas de los separadores magnéticos secundarios se envían a un espesador de 64 m de diámetro, cuya descarga inferior es bombeada a la presa de Jales. La arena clasificada por los hidrociclones se acumula en una pila, desde donde se transporta para la construcción del bordo de la presa de Jales.

### **1.6.4) TRATAMIENTO DEL CONCENTRADO EN LINEA COMUN**

El concentrado secundario se envía a un espesador de 30 m de diámetro, cuyo rebose, al igual que el rebose del espesador de colas, constituyen el principal volumen de agua recuperada del proceso, la que mediante bombeo es recirculada a la planta. La descarga del espesador del concentrado constituye una pulpa con aproximadamente 68 % en peso de sólidos, que es bombeada hacia dos tanques agitadores de 14.6 m de diámetro y 13.1 m de alto, cada uno con una unidad agitadora con hélice de 12 pies ( 3.66 m ) de diámetro.

Desde aquí la pulpa de concentrados, alimenta al ferroaducto, llevando la pulpa a través de 25 km por la tubería de 10" ( 25.4 cm ) de diámetro, hasta la peletizadora de SICARTSA en el puerto de Lázaro Cárdenas.

### **1.6.5) CARACTERISTICAS DE PRODUCCION DEL CONCENTRADO**

La planta concentradora recibe mensualmente en promedio 185,000 toneladas de mineral, con leyes medias de; 49.7 % de fierro total, 36.1 % de fierro magnético, 14 % de sílice y 2.3 % de azufre principalmente.

De la planta concentradora se obtienen dos productos, el concentrado y las colas. La producción mensual de concentrado es de 110,408 toneladas con leyes medias de 65.74 % de fierro total, 55.2 % de fierro magnético, 3.2 % de sílice y 0.37 % de azufre. Las colas finales obtenidas mensualmente son de 83,003 toneladas, con leyes medias de 21.15 % de fierro total y 6.49 % de fierro magnético.

Los datos anteriores indican que la planta concentradora tiene recuperaciones medias de 80.69 % de fierro total y 91.26 % para fierro magnético.

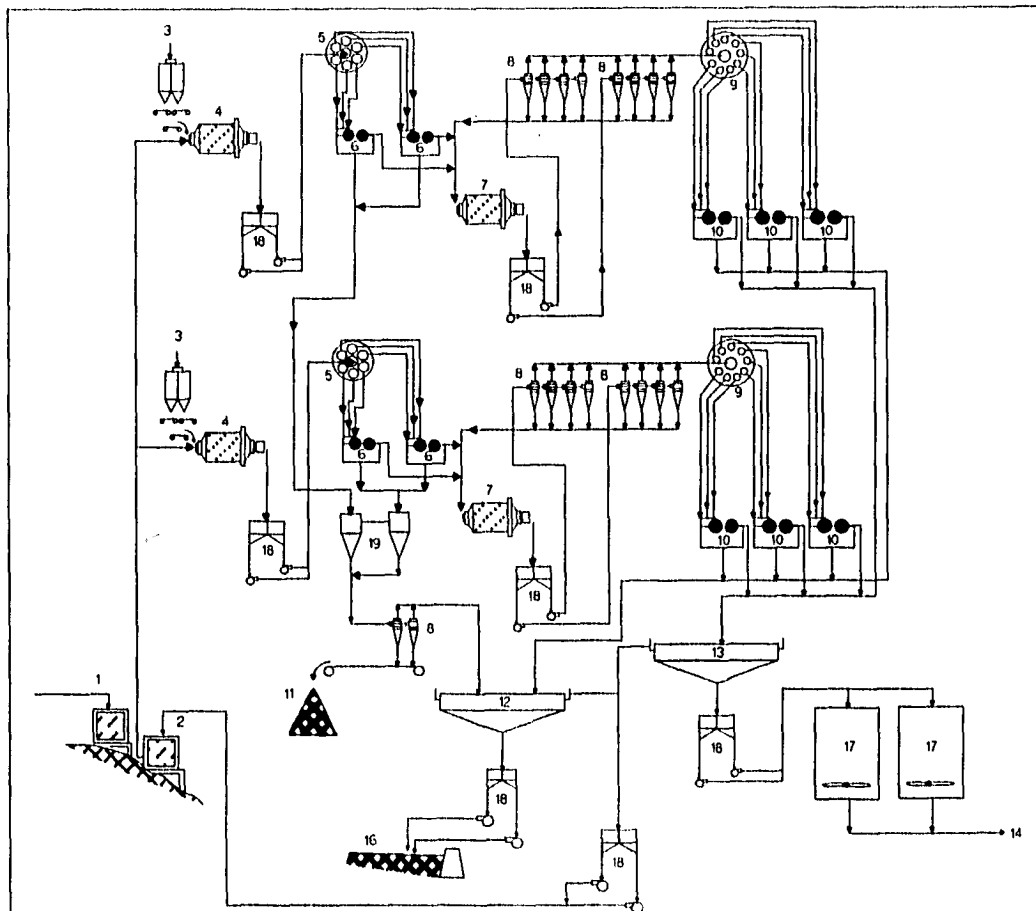
### **1.6.6) COMENTARIOS OPERATIVOS**

La etapa de preparación mecánica incluye la homogenización del material, requerido para amortiguar las variaciones en cantidad y calidad del mineral suministrado por mina. Con esto se logra reducir el rango de variabilidad de los resultados de ley y recuperación en el concentrado de fierro.

Los equipos de planta concentradora están diseñados para recuperar los minerales con susceptibilidad magnética, con la desventaja de tener bajas recuperaciones en los minerales hematíticos.

El cliente inmediato de planta concentradora es la peletizadora, a quien entrega un producto con especificaciones como son ; tonelaje, porciento de sólidos en la pulpa, leyes en el concentrado y granulometrías.





- 1 DEPOSITO DE AGUA FRESCA
- 2 DEPOSITO DE AGUA DE PROCESO
- 3 ALIMENTACION DEL MINERAL A LA PLANTA CONCENTRADORA
- 4 MOLINO DE BARRAS DE 3.8 X 5 (m)
- 5 DISTRIBUIDORES DE PULPA PRIMARIOS
- 6 SEPARADORES MAGNETICOS PRIMARIOS
- 7 MOLINO DE BOLAS DE 4.6 X 8.6 (m)
- 8 HIDROCICLONES
- 9 DISTRIBUIDORES DE PULPA SECUNDARIOS
- 10 SEPARADORES MAGNETICOS SECUNDARIOS
- 11 COLAS GRUESAS
- 12 ESPESADOR DE COLAS
- 13 ESPESADOR DE CONCENTRADOS
- 14 HACIA LA PLANTA PELETIZADORA
- 16 PRESA DE JAL
- 17 TANQUES AGITADORES
- 18 CAJONES DE BOMBEO
- 19 CONOS SEDIMENTADORES DE ARENAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (ISCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
FIGURA No. 2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA CONCENTRADORA	1995

## **II) MARCO TEORICO**

### **II.1) PRINCIPIOS DE FLOTACION DE MINERALES**

La flotación es una operación unitaria que separa partículas sólidas de una mezcla de sólidos finamente divididos y suspendidos en una solución acuosa. Este proceso se efectúa satisfactoriamente cuando existe una diferencia marcada en la afinidad del agua por las superficies de los diferentes minerales presentes en la pulpa. En general, la flotación involucra la adhesión de ciertos sólidos (cuyas superficies fueron previamente cubiertas con reactivos químicos que desplazan a las moléculas de agua adsorbidas en esas superficies) a las burbujas de aire que se introducen al sistema, y a la separación posterior de la espuma en la superficie, conteniendo los sólidos. El proceso de flotación con espuma ha sido aplicado para separar tanto minerales metálicos como no metálicos, y para limpiar minerales combustibles.

Aún cuando son muchos los fenómenos que intervienen en flotación, aquellos determinantes son el mojado de las superficies minerales y la adhesión de partículas a burbujas de gas bajo condiciones dinámicas. Como la separación satisfactoria de minerales por flotación depende primordialmente de la diferente afinidad que exhiben las superficies de las partículas por las moléculas del agua, las características de mojado de las superficies minerales generalmente se modifican mediante la adsorción selectiva de ciertos surfactantes en la interfase sólido-líquido. La adhesión de partículas a las burbujas bajo las condiciones hidrodinámicas presentes en la flotación con espuma se facilita mediante la adición al sistema de surfactantes. Esta adhesión dinámica consta de tres etapas elementales: i) colisión de partícula y burbuja con la formación de una película delgada de líquido entre ellas, ii) adelgazamiento de la película hasta el punto de ruptura, y iii) ruptura y desplazamiento de la película dando lugar a un enlace estable entre la burbuja y la partícula.

Para entender completamente el proceso de flotación se necesita conocer los aspectos físicos y químicos del sistema. Desde un punto de vista de la física, es necesario saber que controla la cinética de captura de partículas por las burbujas y la cinética total de operación de las celdas o columnas de flotación. Desde un punto de vista químico se

requiere conocer que controla la química de superficie de los minerales en soluciones acuosas, el mecanismo de acción de los reactivos de flotación para regular el mojado de varios minerales, el efecto de la química del cristal en flotación, y el desarrollo de esquemas de reactivos para separar varias combinaciones de minerales. ( Herrera, R. 1990 ).

### II.1.1) FENOMENOS DE MOJADO Y EL ANGULO DE CONTACTO

El beneficio de menas por flotación es posible porque las superficies de los minerales se modifican artificialmente con la finalidad de que las moléculas de agua mojen únicamente a las especies que no se desea que se adhieran a la burbuja. Aquellos minerales que muestran poca afinidad por el agua se denominan hidrofóbicos, y durante la flotación se adhieren fácilmente a las burbujas de aire. La mayoría de los minerales, sin embargo, poseen superficies con mucha afinidad por el agua. ( Herrera, R. 1990 ).

La flotabilidad de los minerales ha sido evaluada tradicionalmente mediante mediciones del ángulo de contacto  $\theta$  de una burbuja en un sólido. Este parámetro se define como el ángulo que se forma entre la superficie del sólido y un plano tangente a la superficie del líquido en la línea de mojado. El ángulo de contacto se mide a través del líquido, y su magnitud está dada por la ecuación de Young-Dupre, la cual relaciona las tensiones interfaciales  $\tau$  en los límites sólido-gas, sólido-líquido y líquido-gas, respectivamente, con el ángulo de contacto. ( Figura No. 3).

$$\cos \theta = \frac{\tau_{SG} - \tau_{SL}}{\tau_{LG}} \quad (1)$$

Donde;            **SG = Sólido Gas**  
                      **SL = Sólido Líquido**  
                      **LG = Líquido Gas**  
                       **$\tau$  = Tensiones Interfaciales**

El ángulo de contacto de un mineral hidrofílico inmerso en agua es cero.

Excluyendo efectos gravitacionales, el cambio en la energía libre (con base en una unidad de área) para la adhesión de una partícula mineral a una burbuja de aire,  $\Delta G_{flot}$  también está controlado por las tensiones interfaciales:

$$\Delta G_{flot} = \Delta G_f - \Delta G_i = \tau_{SG} - \tau_{SL} - \tau_{LG} \quad (2)$$

Donde;

$\Delta G_{flot}$  = Energía libre de Gibbs en la flotación

$\Delta G_i$  = Energía libre de Gibbs anterior a la adhesión

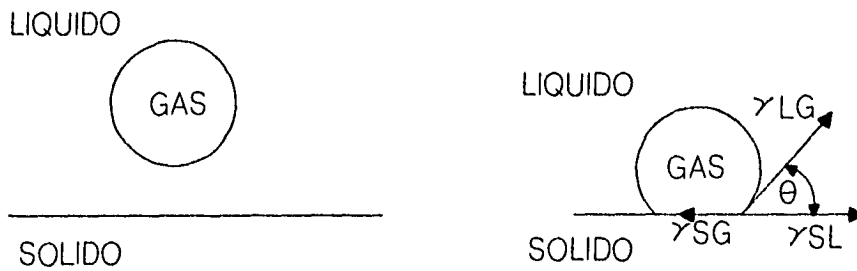
$\Delta G_f$  = Energía libre de Gibbs después de la adhesión

La condición termodinámica para un contacto estable entre la burbuja y la partícula se cumple cuando  $\Delta G_{flot} < 0$ . El proceso de adhesión de una burbuja a una superficie mineral, así como el ángulo de contacto que se forma en la línea de mojado, se presenta en la fig. No. 3. Combinando las ecuaciones 1 y 2, se obtiene la siguiente expresión:

$$\Delta G_{flot} = \tau_{LG} (\cos \theta - 1) \quad (3)$$

Por lo tanto termodinámicamente, la flotación es espontánea para todos los ángulos de contacto finitos.

Las ecuaciones anteriores indican que la magnitud del ángulo de contacto y de la energía libre de flotación (mojado) está controlada por el valor de las tensiones en las interfases sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas, el cual se verá afectado por la adición de varios tipos de reactivos químicos al sistema. Por su habilidad para concentrarse en las interfases y modificar las tensiones en estas regiones, los surfactantes son usados ampliamente para regular el proceso de flotación. La adsorción de éstas especies en la interfase sólido-líquido puede promover o inhibir el mojado de superficies minerales.



Representación esquemática de la adhesión de una burbuja de gas a la superficie de un mineral, mostrando el ángulo de contacto y las tensiones interfaciales.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ</b>	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 3	<b>1995</b>

## II.1.2) LA DOBLE CAPA ELECTROQUIMICA

La introducción, y el uso muy difundido, del concepto de la doble capa electroquímica en la interpretación de los fenómenos de flotación, constituyó uno de los pasos más significativos que se han dado para tratar de explicar la fisicoquímica de los sistemas de flotación. Esta doble capa eléctrica se produce al sumergir un mineral en una solución acuosa, y se localiza en la interfase sólido-líquido. Al poner en contacto estas dos fases, algunas especies iónicas migran a través de la interfase hasta que se establecen las condiciones de equilibrio, lo que hace que la superficie del mineral adquiera una carga eléctrica con respecto a la fase acuosa y se forme una región eléctrica no homogénea. La carga en exceso (positiva o negativa) fija en la superficie del mineral, es balanceada exactamente por una carga de igual magnitud pero de signo opuesto, que se localiza en la región difusa en el lado líquido. La carga de superficie y la carga de la región difusa constituyen la doble capa electroquímica. (Herrera R. 1990 )

Aquellas especies iónicas que pueden moverse libremente a través de la interfase se conocen como iones determinantes del potencial; su adsorción o disolución da lugar a la carga eléctrica en la superficie del sólido, y su actividad controla el potencial eléctrico en la superficie (co). Para muchos minerales, los iones determinantes del potencial son los iones que forman sus redes cristalinas. En el caso de óxidos, los iones determinantes del potencial son el  $H^+$  , y el  $OH^-$ . A un cierto valor de la actividad de estos iones, la carga eléctrica neta en la superficie es cero. Esta condición se conoce como el punto de carga cero (PCC) del material: el PCC provee la información más importante para describir los procesos basados en fenómenos de superficies que son controlados por la doble capa electroquímica. La importancia del PCC radica en el hecho de que el signo de la carga superficial controla la adsorción física de todos los iones, y particularmente de aquellos con carga opuesta a la de la superficie. En el cuadro No. 2, se presentan los valores de pH de PCC de óxidos, silicatos, y minerales iónicos separados comúnmente por flotación.

**CUADRO No. 2 . Puntos de carga cero de algunos minerales.**

<b>Oxidos minerales</b>		<b>pH PCC</b>
SiO <sub>2</sub>	Cuarzo	2 - 3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematita	4.8-6.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Corundo	9.1
FeOOH	Gohetita	6.8
MnO <sub>2</sub>	Pirolusita	5.6
<b>Minerales Iónicos</b>		
BaSO <sub>4</sub>	Barita	3.4
CaF <sub>2</sub>	Fluorita	9.5
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (F,OH) <sub>2</sub>	Fluorapatita	6.0
<b>Silicatos Minerales</b>		
K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Microclina	1.9
CuSiO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O	Crisocola	2.0
LiAl(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Espodumeno	2.6
ZrSiO <sub>4</sub>	Zircón	5.8

( Herrera, R. 1990 ).

Los iones que se adsorben en la interfase con la única finalidad de mantener la electroneutralidad del sistema (para balancear la carga eléctrica creada por los iones determinantes del potencial) se denominan iones contrarrestadores de potencial. En muchos casos, estos iones no tienen afinidad especial por la superficie, y su adsorción se debe únicamente a una atracción electrostática. La distancia más cercana que un ion

contrarrestante de potencial puede acercarse a la superficie se conoce como el plano de Stern  $\delta$ .

El carácter eléctrico de la interfase mineral-solución acuosa controla la adsorción de los colectores en la mayoría de los sistemas de flotación. El comportamiento de flotación de los óxidos minerales insolubles, por ejemplo, se entiende mucho mejor en términos de la doble capa electroquímica. Una herramienta muy útil para el estudio de estos fenómenos en sistemas de flotación es la medición del potencial electrocinético, el cual se produce por el movimiento relativo entre las fases sólida y líquida en un sistema cargado eléctricamente.

Los dos métodos más usados en investigaciones de la química de la flotación para evaluar los potenciales electrocinéticos son electroforesis y potencial de flujo. En electroforesis se mide la velocidad con que se desplazan partículas coloidales en un campo eléctrico, mientras que la evaluación de los potenciales de flujo se basa en la medición del potencial que se genera cuando un líquido es forzado a pasar a través de un lecho de partículas. El cálculo del potencial en el plano de cizallamiento, localizado cerca de la superficie se puede esquematizar como en la figura No. 4. Esta figura también muestra una representación esquemática de la doble capa electroquímica y presenta los parámetros más relevantes que describen el carácter eléctrico de la interfase sólido-líquido. El potencial en el plano de cizallamiento se conoce como el potencial zeta  $\zeta$ , y generalmente se considera que su valor se aproxima al potencial del plano de Stern  $\delta$ . A la composición química de la solución que provoca un cambio en el signo del potencial zeta se le ha llamado el punto Isoeléctrico (PIE), o simplemente el punto de cambio de signo del potencial zeta (PZR).

### **II.1.3) FLOTACION DE MINERALES**

#### **II.1.3.1) FLOTACION CON COLECTORES QUE SE ADSORBEN FISICAMENTE**

La flotación de minerales cuyas superficies hidrofílicas son transformadas en hidrofóbicas después de la adsorción física de colectores, los cuales pueden ser catiónicos o aniónicos, está fuertemente controlada por el PCC del mineral y por el pH. Para explicar la flotación con colectores que se adsorben físicamente se tiene el modelo electrostático de



flotación, que se basa en la idea de que éste tipo de colectores funcionan, particularmente en sistemas que contienen óxidos y silicatos minerales, como iones que contrarrestan el potencial de la doble capa eléctrica. ( Herrera R. 1990).

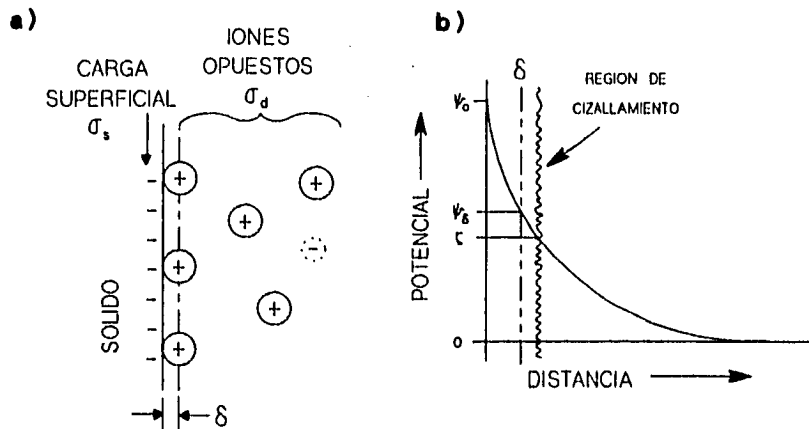
Los reactivos químicos comúnmente usados como colectores catiónicos en la flotación de minerales, son las sales de aminas primarias con una cadena larga de hidrocarburo. Como estos surfactantes se ionizan en soluciones acuosas, la actividad del ion hidrógeno controla la distribución de especies de amina en solución. La química de soluciones de aminas dodeclicas, por ejemplo esta dada por las reacciones mostradas en el Cuadro No. 3.

**CUADRO No. 3 Distribución de especies de amina en solución, como función de la actividad del ion hidrógeno.**

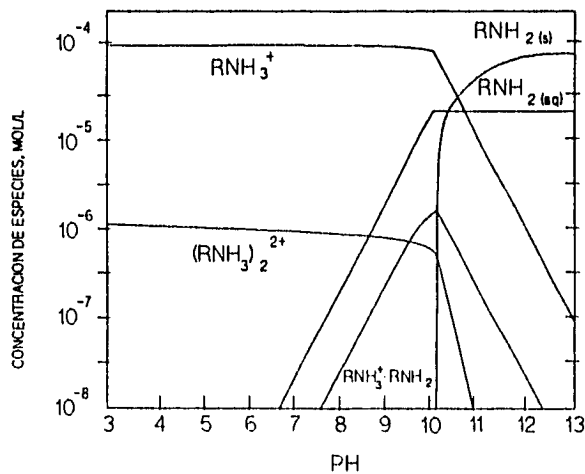
REACCION	pK
$\text{RNH}^{3+} = \text{RNH}_2(\text{ac}) + \text{H}^+$	10.63
$2\text{RNH}^{3+} = (\text{RNH}_3)_2^{2+}$	-2.08
$\text{RNH}^{3+} + \text{RNH}_2(\text{ac}) = \text{RNH}^{3+} \cdot \text{RNH}_2$	-3.12
$\text{RNH}_2(\text{s}) = \text{RNH}_2(\text{ac})$	4.9

Usando estos datos termodinámicos se construyen diagramas de distribución de especies como el que se presenta en la figura No. 5. Este diagrama corresponde a una concentración total de amina dodeclica de  $1 \times 10^{-4}$  M, y muestra que este surfactante se disocia completamente cuando el pH es ácido o neutro, mientras que en soluciones alcalinas se hidroliza.

Oxidos minerales tales como la hematita, gohetita, magnetita y corundo, también flotan con colectores catiónicos a pHs mayores que sus puntos de carga cero. La flotación



**FIGURA No. 4** a) Representación esquemática de la estructura de la doble capa electroquímica y b) Variación del potencial eléctrico con la distancia.



**FIGURA No. 5** Diagrama de distribución de especies para una solución de amina dodecílca en función del pH.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURAS 4 Y 5	1995

inversa de óxidos minerales de hierro (hematita y gohetita) con amina como colector, ocurre la flotación óptima de cuarzo a pH mayores que su PCC, mientras que la flotación máxima de óxidos de hierro es posible entre pH de 10 y 12, ya que su PCC corresponde a pH 7. Para ambos minerales la flotación cesa a pH 12.5 porque el colector se hidroliza en soluciones alcalinas, y la concentración de cationes amino en solución es, consecuentemente, muy baja. Los resultados confirman que la flotación de cuarzo y óxidos de hierro con colectores catiónicos depende en gran parte del PCC del mineral; también indican que la forma iónica del surfactante es la especie que actúa como colector, y que el rango de pH de 4 a 8 el cuarzo puede ser separado de los óxidos de hierro mediante la flotación catiónica.

### **II.1.3.2) FLOTACION POR ADSORCION QUIMICA DEL COLECTOR**

Los colectores que se adsorben en la superficie de los minerales por medio de fuerzas químicas constituyen, para muchos minerales, el medio más eficaz para efectuar procesos selectivos de flotación. La interacción química entre el grupo polar del colector y los aniones y cationes que se encuentran en los grupos superficiales, involucran una transferencia de electrones que resulta en la formación de un enlace covalente. Por lo tanto los colectores iónicos que se adsorben químicamente se pueden adsorber aún en superficies minerales con una carga eléctrica similar a la del ión. Cuando estos surfactantes se usan como colectores, la flotación del mineral no está relacionada con el PCC. (Herrera R. 1990 ). La respuesta a la flotación de hematita en función del pH usando ácidos grasos no saturados reaccionan químicamente con el hierro.

Los surfactantes que funcionan como colectores mediante la formación de especies químicas con los iones que constituyen la red cristalina de los minerales, son principalmente los ácidos grasos , sulfonatos alquílicos y agentes quelantes.

Se conoce que las aminas también pueden interactuar químicamente con algunos minerales. En pulpas que contienen apatita y amina, por ejemplo la adsorción de este colector catiónico en la superficie del mineral se efectúa porque el ion fosfato reacciona químicamente con el catión amino.

## **II.2) PRINCIPALES PARAMETROS DE CONTROL EN LAS COLUMNAS (Referido a la flotación inversa)**

### **II.2.1) DESCRIPCION DE LA COLUMNA**

Las columnas de flotación son aparatos que separan selectivamente la ganga de la mena mineral. El rendimiento metalúrgico que han obtenido, han dado popularidad a la flotación por columnas en el procesamiento de los minerales. ( PROMINCO 1991 )

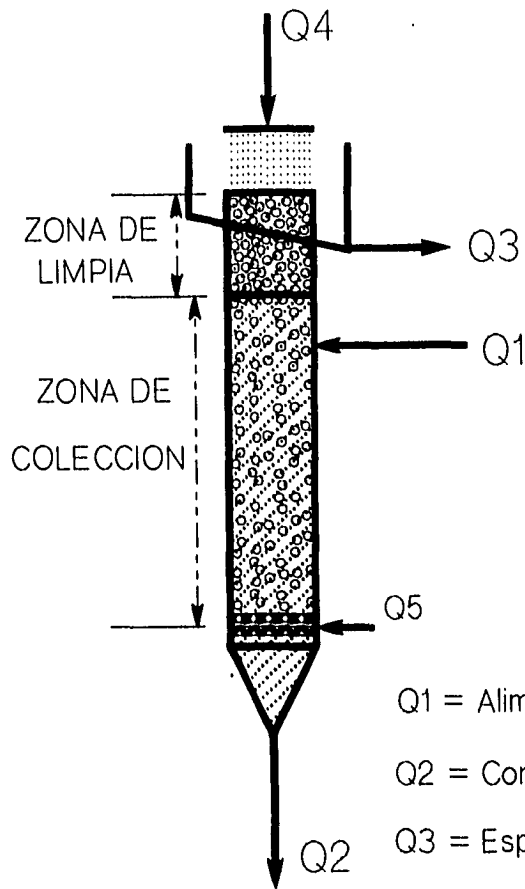
En la figura No. 6 se ilustran los flujos fundamentales existentes. La alimentación se efectúa aproximadamente en el tercio superior de la columna y se distribuye en forma uniforme en la sección transversal. Luego, la pulpa recorre en dirección descendente la columna contra la corriente de un chorro ascendente de burbujas que se producen en un aparato esparsor. Las partículas que chocan y se adhieren a las burbujas son transportadas a la parte superior de la columna para, finalmente, llegar a la interfase existente entre la pulpa o zona colectora y la zona de espuma. La zona de espuma está compuesta principalmente por gas con sólidos y líquidos en el espacio entre las burbujas. El agua de lavado se introduce por la parte superior de la columna, se filtra en forma descendente a través de esta cama y lava la espuma separando por arrastre del agua las partículas que no deben flotar.

Mediante un balance de líquidos en la columna, podrá determinarse dicha magnitud del flujo líquido de la zona de espuma. El flujo de aire utilizado en la columna se selecciona de acuerdo con el flujo de alimentación y los requisitos de producción de concentrado. éste último determinará, en parte, el punto en la curva de recuperación/ley en que debe operar la columna.

### **II.2.2) AIRE**

La ley aumenta con mayor flujo de aire en la flotación inversa ( fig. No. 7 ). Sin embargo a flujos de aire críticos (valores extremos) cambia la apariencia de la burbuja causando una disminución en la recuperación . El valor exacto experimentará una variación a ésto. ( fig. No. 8 ).

## Flujos básicos en la columna de flotación.



Q1 = Alimentación de pulpa

Q2 = Concentrado de Fe

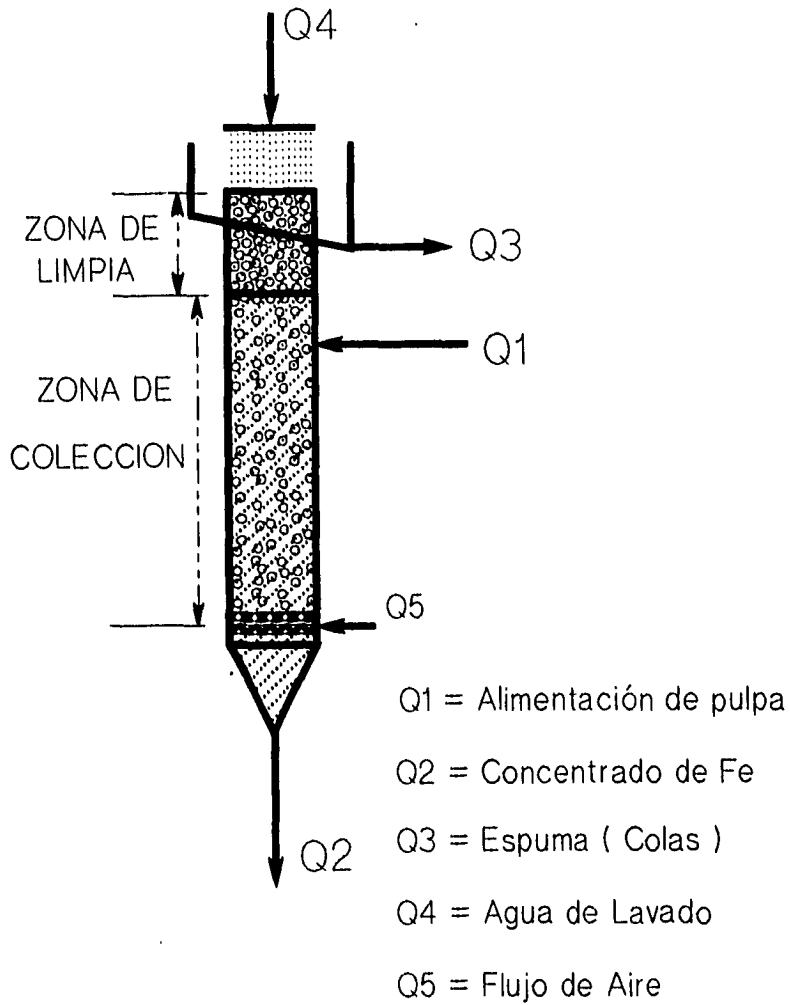
Q3 = Espuma ( Colas )

Q4 = Agua de Lavado

Q5 = Flujo de Aire

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZÁLEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE HIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACIÓN EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 6	1995

## Flujos básicos en la columna de flotación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 6	1995

Estos efectos solo son válidos dentro de una región específica del flujo. Dado que si los flujos de aire generan una velocidad superficial de aire muy alta pueden producir un colapso en la cama de espuma y en consecuencia una pérdida de la interfase, en cuyo caso deberá disminuirse el gasto de aire. ( FINCH Y DOBBY, 1990 ).

### **II.2.3) CAMA DE ESPUMA ( referido a flotación inversa ).**

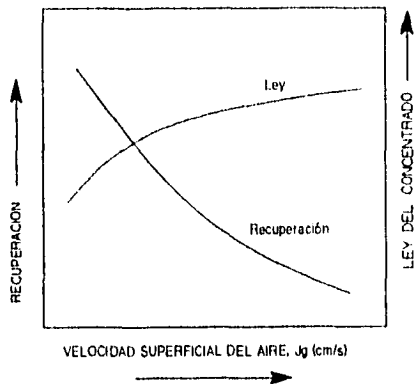
El nivel de interfase entre las zonas de pulpa y de espuma puede determina el flujo de mineral en el derrame de espuma . Una zona de limpia más larga, mejorará la recuperación a expensas de la ley ( fig. No. 9 ). Sin embargo, se obtiene escaso beneficio a profundidades fuera de intervalo. Es posible llevar a cabo pruebas con el objeto de verificar el rendimiento a diversos niveles de interfase. ( FINCH Y DOBBY, 1990 ) ( PROMINCO, 1991)

La fluctuación de la profundidad de la espuma es limitada en ambos sentidos. El límite superior es el borde de la columna. Mientras más cerca se encuentre la interfase del borde más posibilidad habrá de que errores en la medición o trastornos en el circuito produzcan contaminación de la pulpa por arrastre mecánico en el concentrado. El límite inferior se refiere al punto en que la espuma se vuelve muy turbulenta. El colapso se percibe como una zona de espuma altamente turbulenta que, a menudo, sufre la apariencia de un "Volcan".

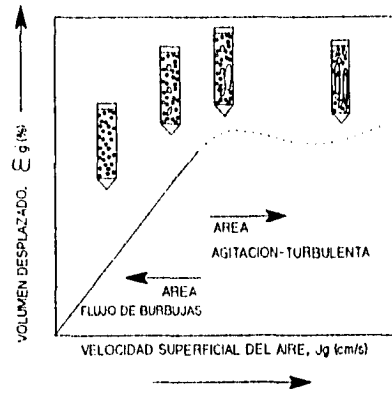
### **II.2.4) FLUJO DE ALIMENTACION**

Un aumento en la alimentación de la pulpa cargará las burbujas con anterioridad en la zona de colección permitiendo una flotación más selectiva, sin embargo, una vez que ocurre la saturación de las partículas en la burbuja, ( determinado por el área superficial de la burbuja ) no puede flotarse masa adicional de partículas hidrofóbicas.

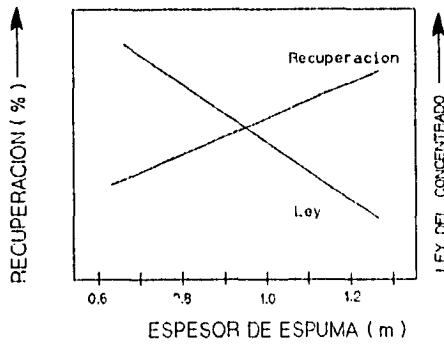
El aumento en el flujo de alimentación producirá un incremento en el porcentaje de sólidos en la espuma derramada ( fig. No. 10).



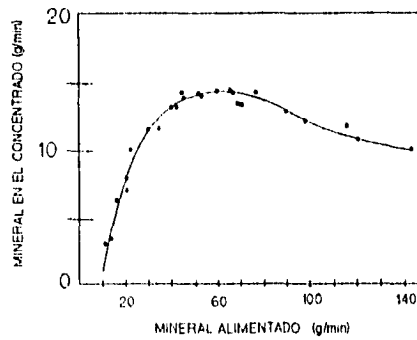
**FIGURA No. 7** Ley/Recuperación como una función del gasto de aire en flotación inversa.



**FIGURA No. 8** Volumen desplazado por el aire como una función del gasto de gas, relación general. (FINCH Y DOBBY, 1990)



**FIGURA No. 9** Ley/Recuperación de mineral en la espuma en función del espesor de espuma (flotación inversa).



**FIGURA No. 10** Peso de mineral en el concentrado en función del mineral alimentado. Pruebas a escala piloto de un mineral con sílice. (FINCH Y DOBBY, 1990).

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ</b>	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURAS No. 7, 8, 9 y 10.	<b>1995</b>



### **II.2.5) DENSIDAD DE FLUJO CORREGIDA ( Bias ).**

La densidad de flujo corregida ( en adelante se le llamará **bias** ( $J_B$ ) ) es el flujo de agua ( magnitud y dirección ) a través de la zona colectora. Se entiende por **bias** ( $J_B$  ó Densidad de flujo corregida ) a la diferencia del flujo del líquido de descarga de la columna ( $Q_2$ ) menos el flujo de alimentación de la pulpa ( $Q_1$ ), divididas por el área de un corte transversal de la columna ( $A_1$ ).

$$J_B = ( Q_2 - Q_1 ) / A_1$$

Operar con un **bias** positivo es esencial en la producción de un concentrado final pero pueden ser usados **bias** negativos en flotaciones agotativas, limpiadoras o flotaciones Inversas.

El volumen ocupado por el aire en la espuma aumentará al disminuir el valor manejado en el **bias** ( fig. No. 11 ).

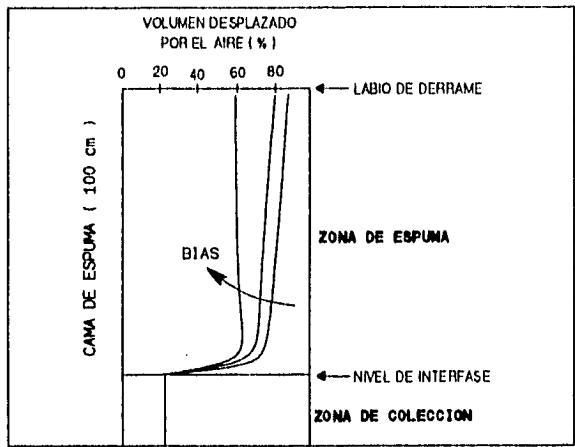
### **II.2.6) DOSIFICACION DE ESPUMANTE**

Por lo general se utiliza espumante adicional ( 20 - 60 ppm ) en las columnas respecto al utilizado en celdas convencionales y es posible adiconarlo en forma directa al aire del esparsor.

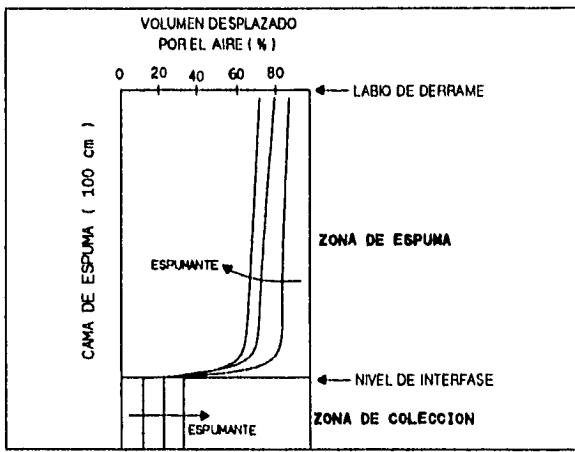
El espumante actúa como estabilizador en la zona de la espuma. Una espuma inestable presenta una mala flotación; haciendo inestable la selectividad y recuperación de los productos. Agregar espumante al agua puede aumentar la estabilidad y la colección de las partículas, sin embargo no necesariamente mejorar el rendimiento de la columna. (fig. No. 12). El aumento en el espumante produce burbujas más pequeñas ( figura No. 13).

### **II.2.7) AGUA DE LAVADO**

El ajuste del flujo en el agua de lavado tiene dos efectos principales;



**FIGURA No. 11** Efecto del valor del bias en el agua del concentrado como función del agua en la alimentación. ( DOBBY Y FINCH, 1991 ).



**FIGURA No. 12** Efecto del espumante en el volumen ocupado por el aire dentro de la columna. ( PROMINCO, 1991 ).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURAS No. 11 Y 12.	<b>1995</b>

a) Mantener el nivel

b) Evitar o disminuir el arrastre mecánico de la partículas hidrofílicas (fig. No. 12)

Un flujo de agua de lavado muy alto puede causar un colapso en la espuma, y dentro de intervalos razonables ésta puede ser estimada en función del bias usado. A elevadas velocidades superficiales de agua de lavado se provoca la ruptura de la adhesión de las partículas hidrofílicas con la burbuja ( fig. No. 15 )

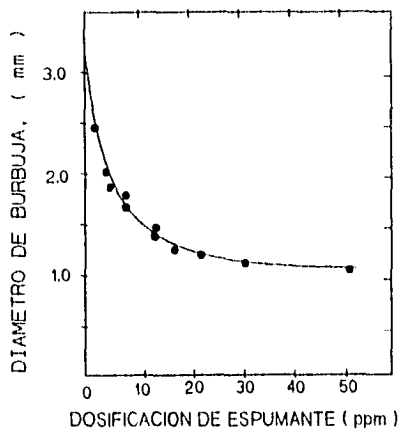
### II.3) FLOTACION DE MINERALES DE OXIDOS DE FIERRO

Los minerales con óxidos de hierro pueden ser concentrados por la flotación de los óxidos de hierro o de la ganga silicosa, usando colectores aniónicos o catiónicos. ( GY - FUERSTENAU, 1984 ).

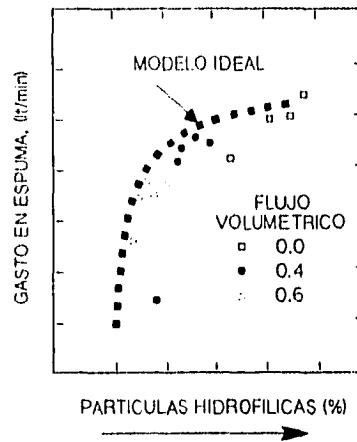
Para los óxidos minerales, los iones hidrógeno e hidroxilo son los iones que determinan el potencial y el control de la carga superficial, que en turno gobierna la selectividad de adsorción del colector. La selectividad de separación por flotación puede ser relacionada a la diferencia en los puntos de carga cero (PCC) de los minerales constituyentes (como se mencionó anteriormente en el inciso II.1.2).

El mecanismo más apropiado depende de la respuesta del mineral a los medios electrostáticos de adsorción (sea físico o químico), resultando ser el más funcional en la práctica industrial, la flotación catiónica de sílice ( P. SOMASUNDARAN, 1986 )

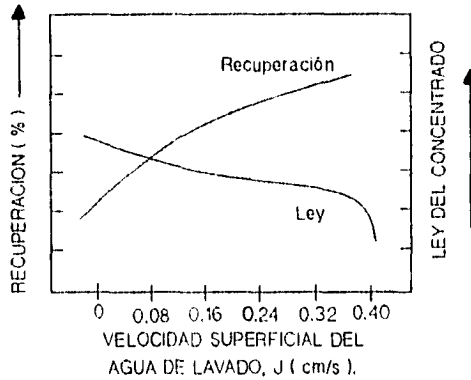
El desarrollo de técnicas para la concentración de óxidos de hierro bajos en sílice por flotación catiónica de sílice ha recibido un incremento en su atención, particularmente para la producción de pellets mezclados de productos de concentración magnética (magnetita principalmente) con los productos de flotación (magnetita y hematita), para ser recuperados en alto horno.



**FIGURA No. 13** Ilustración del efecto del tamaño de burbuja con adición de espumante. ( FINCH Y DOBBY, 1991 )



**FIGURA No. 14** Efecto del agua de lavado respecto a tres valores, mostrando el limpiado de la burbuja. ( FINCH Y DOBBY, 1991 )



**FIGURA No. 15** Curva Ley/Recuperación del concentrado respecto al agua de lavado en flotación inversa ( PROMINCO, 1991 )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN ISCARISAI POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
FIGURAS No. 13, 14 Y 15.	1995

Los otros métodos conocidos de concentración por flotación son considerados pero rechazados por las siguientes razones; a) Los costos en los equipos se incrementan al usar pH's muy ácidos o muy alcalinos, b) El costo de los reactivos es mayor, c) Mayor costo por control de emanantes contaminantes.

Con ésto la flotación catiónica de sílice es preferente por sus ventajas operacionales y de eficiencia metalúrgica. Esto último frecuentemente es el factor definitivo en la comparación de reactivos de flotación.

La selectividad de separación por flotación es influenciada por la combinación compleja de mineralogía, química, física y de parámetros de ingeniería. Así la selección del método de flotación para un mineral dado, incluye una cuidadosa consideración de los principales parámetros, como pueden ser; tipo y cantidad de reactivos, tiempo de flotación y dimensiones del equipo.

Los tres óxidos de hierro hematita, magnetita y gohetita tienen sus PCC's en un estrecho intervalo de pH de 6.5 a 6.7, y de aquí que sus características de flotación sea semejante en partículas debidamente liberadas, que resulta ser aceptable tanto en colectores aniónicos como catiónicos.

La separación por flotación puede ser realizada en estrechos intervalos de pH donde los PCC de los dos minerales por separar, están cargados opuestamente. De igual modo los intervalos de pH también corresponden a la condición de heterocoagulación de los minerales, pudiendo esta ocurrir y la separación por flotación es más difícil. Esto es potencialmente más problemático para las fracciones de -10 micrometros, ocurriendo poca selectividad por la heterocoagulación de la hematita con el cuarzo, anulando la selectividad del colector ( GY - FUERSTENAU, 1984 )

Parcialmente es anulado éste efecto con la adición de un derivado del petróleo como puede ser queroseno, petróleo combustible o diesel, que actúa como un dispersor de la pulpa. Ayudando al mismo tiempo en bajar los consumos de los reactivos colectores.

El efecto de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , en la calidad del agua fresca como la de proceso causan no solo la activación de la ganga en la flotación directa de óxidos de hierro con ácidos grasos, sino también la depresión de ganga silicosa en la flotación inversa de óxidos de hierro. En ambos casos, ocurriendo la contaminación de los concentrados de óxidos de hierro.

La flotación catiónica de sílice es más tolerante a la calidad de agua, pero un reciclamiento excesivo del agua en las plantas de flotación puede conducir a la acumulación de sales solubles y reactivos de flotación.

Frecuentemente se realizan trabajos de flotación en laboratorio con agua de calidad diferente a la mina, sin relacionarlo como nocivo para la operación, lo cual puede llegar a ser crítico dependiendo del alcance y de la finalidad de las pruebas.

#### **II.4) DISEÑO FACTORIAL, ANALISIS DE VARIANZA Y VALIDEZ EXPERIMENTAL.**

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar un efecto conjunto de éstos sobre una respuesta. En especial en 1951 se reporta ( Dorenfeld A. C. ) un estudio usando diseño factorial para la flotación de minerales de cobre. Sin embargo, existen casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico. (Montgomery, 1991 ).

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen  $k$  factores, cada uno con dos niveles cuantitativos. Una replica completa de tal diseño requiere que se recopile  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones y se conoce como diseño factorial  $2^k$ . El análisis de éste método de diseño supone que, a) Tiene factores fijos, b) Tiene diseño aleatorio y c) Satisface la suposición de normalidad.

El diseño  $2^k$  es particularmente útil en las primeras fases de trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva a un menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse  $k$  factores en un diseño factorial completo.

Debido a que solo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores.

La cantidad total de combinaciones para modificar 4 variables en un diseño  $2^4$ , tiene 16 combinaciones de tratamientos, más una replica del diseño para observar la repetibilidad de la pruebas ( completa 32 tratamientos experimentales ).

Algunas veces se llama factorial no replicado a una repetición individual de un diseño  $2^k$ . Con sólo una replica no hay estimación de error. Una aproximación al análisis de un factorial no replicado consiste en suponer que ciertas interacciones de orden superior son despreciables, y combinar sus cuadrados medios para estimar el error. Con base al principio de dispersidad de efectos; esto es, la mayoría de los sistemas son dominados por algunos de los efectos principales e interacciones de bajo orden, y la mayoría de las interacciones de orden superior son despreciables.

Cuando se realizan datos de diseños factoriales no replicados, en ocasiones se observan interacciones de orden superior. El uso de un cuadrado medio de error obtenido por combinación o agrupamiento de interacciones de orden superior es inapropiado en estos casos. Un método sencillo de análisis para superar este problema consiste en graficar las estimaciones de los efectos en papel de probabilidad normal. Los efectos que son despreciables se distribuyen normalmente, con media cero y varianza  $\sigma^2$ , y tienden a ubicarse a lo largo de una línea recta en ésta gráfica, mientras que los efectos significativos tendrán medias distintas de cero y no se ubicarán en la línea recta.

La validez experimental será atribuida de acuerdo a los requerimientos de confiabilidad, significando que será válida o rechazada después de haber definido los rangos de la función densidad.

El experimento basado en el diseño factorial del tipo  $2^4$ , identifica los factores que tienen efectos importantes sobre los parámetros de selección.

Para darle mayor validez al experimento tiene que cumplir satisfactoriamente los cuatro siguientes puntos:

Debido a que solo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores.

La cantidad total de combinaciones para modificar 4 variables en un diseño  $2^4$ , tiene 16 combinaciones de tratamientos, más una replica del diseño para observar la repetibilidad de la pruebas ( completa 32 tratamientos experimentales ).

Algunas veces se llama factorial no replicado a una repetición individual de un diseño  $2^k$ . Con sólo una replica no hay estimación de error. Una aproximación al análisis de un factorial no replicado consiste en suponer que ciertas interacciones de orden superior son despreciables, y combinar sus cuadrados medios para estimar el error. Con base al principio de dispersidad de efectos; esto es, la mayoría de los sistemas son dominados por algunos de los efectos principales e interacciones de bajo orden, y la mayoría de las interacciones de orden superior son despreciables.

Cuando se realizan datos de diseños factoriales no replicados, en ocasiones se observan interacciones de orden superior. El uso de un cuadrado medio de error obtenido por combinación o agrupamiento de interacciones de orden superior es inapropiado en estos casos. Un método sencillo de análisis para superar este problema consiste en graficar las estimaciones de los efectos en papel de probabilidad normal. Los efectos que son despreciables se distribuyen normalmente, con media cero y varianza  $\sigma^2$ , y tienden a ubicarse a lo largo de una línea recta en ésta gráfica, mientras que los efectos significativos tendrán medias distintas de cero y no se ubicarán en la línea recta.

La validez experimental será atribuida de acuerdo a los requerimientos de confiabilidad, significando que será válida o rechazada después de haber definido los rangos de la función densidad.

El experimento basado en el diseño factorial del tipo  $2^4$ , identifica los factores que tienen efectos importantes sobre los parámetros de selección.

Para darle mayor validez al experimento tiene que cumplir satisfactoriamente los cuatro siguientes puntos:



#### **II.4.1) NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS**

Consiste de construir una gráfica de probabilidad normal de los residuos. Una gráfica de este tipo es la representación de la distribución acumulada de los residuos sobre el papel de probabilidad normal, en otras palabras, es papel para gráficas cuya escala de ordenadas es tal que la distribución normal acumulada sea una línea recta. Para construir una gráfica de probabilidad normal, deben disponerse los residuos en forma ascendente. Si la distribución de los errores es normal, esta gráfica se parecerá a una línea recta. Al visualizar la gráfica hay que poner más énfasis en los valores centrales que en los extremos.

Los pasos a seguir son;

- a) Se calcula "y" ( efecto inverso ).
- b) Se obtiene el residuo "Y - y" ( efecto directo - efecto inverso ) del algoritmo de Yates.
- c) Se ordenan los residuos de menor a mayor.
- d) Se grafica en papel de probabilidad con diagrama de puntos  $2^4 = 16$  replicas por duplicado.

#### **II.4.2) INDEPENDENCIA ESTADISTICA**

Al graficar los residuos contra el orden en que se realizaron las pruebas es útil para detectar la nula correlación entre ellos y con esto afirmar la suposición de Independencia de los residuos ( "Y" - "y" ). De existir tendencia a tener rachas con residuos positivos y negativos indicaría una correlación positiva violando de esta manera la independencia. Un paso importante para asegurar la Independencia es realizar un proceso apropiado de aleatorización.

- Se grafican los residuos en función del orden aleatorio. ( no debe haber tendencia).

#### **II.4.3) VARIANZA CONSTANTE**

Esta puede ser obtenida al graficar los residuos contra el valor de los efectos inversos. Si el modelo es correcto y las suposiciones se satisfacen, los residuos no deben tener algún patrón obvio ni deben estar relacionados con algún otra variable.

- Se grafican los efectos inversos "y" en función de los residuos.

(No debe haber tendencia)

#### **II.4.4) EFECTOS PRINCIPALES**

Estos son determinados al construir una gráfica en papel de probabilidad normal los 15 efectos determinados por medio del algoritmo de Yates. Los efectos despreciables generalmente se ubican en la parte central constituyendo una línea recta, mientras que los efectos grandes están alejados de ésta.

- a) Con Yates se obtienen los efectos principales.

- b) Se grafican los efectos en papel de probabilidad normal de menor a mayor.

(Los efectos principales se apartan de una línea recta).

Una vez satisfechos los requisitos se cumple la validez del modelo y se procede a determinar las variables que tengan valor  $F_0$  mayor o igual al indicado en la tabla (Los valores  $F_0$  pueden ser vistos en el anexo 1), con un rango de confiabilidad de "X" % para 1 grado de libertad en el numerador y 25 grados de libertad para el denominador en la distribución porcentual  $F_0$ .

No se llega al 100 % de confiabilidad ya que se tienen dos tipos de errores.

Los *tipos de errores* a que se puede caer son:

a) Creer que el modelo esta bien y esta mal (H<sub>0</sub>).

b) Creer que el modelo esta mal y esta bien (H<sub>1</sub>).

## II.5) ANALISIS DE REGRESION

El análisis de regresión es una herramienta estadística que relaciona dos o más variables cuantitativas de tal manera que una de éstas se puede predecir en función de la otra u otras y expresarse en un modelo matemático. ( Gonzalez-Sosa, 1994 ).

Lo anterior se refiere a obtener un modelo que describa la forma de relacionar variables. Conociendo la relación matemática de las variables se puede predecir los valores de la variable de respuesta y optimizar las variables de operación.

Las relaciones entre dos o más variables se clasifican en funcionales y estadísticas. En las primeras indica que para cada valor de la variable independiente le corresponde un solo valor de respuesta. La relación estadística representa el mejor ajuste de los datos experimentales a un modelo seleccionado y para cada valor de la variable independiente le corresponde una zona de probabilidad para la variable de respuesta. Este último se puede expresar de la siguiente manera como una función de respuesta ( ecuación No. 4 )

$$y_i = \varphi_1 Z_1 + \varphi_2 Z_2 + \dots + \varphi_p Z_p + \varepsilon_p \quad (4)$$

donde;

p = número de variables

y<sub>i</sub> = Respuesta esperada ( Zona de probabilidad )

$\varphi_j$  = Coeficientes desconocidos

$Z_j$  = Valores de X codificados

El enfoque esta orientado a obtener un modelo matemático a partir de información de las variables involucradas y analizar la adecuación del modelo mediante análisis de varianza y coeficiente de determinación.

El conjunto de "n" ecuaciones se transforma

$$y_1 = \varphi_1 Z_{11} + \varphi_2 Z_{21} + \dots + \varphi_p Z_{p1} + \varepsilon_1 \quad (5)$$

$$y_2 = \varphi_1 Z_{12} + \varphi_2 Z_{22} + \dots + \varphi_p Z_{p2} + \varepsilon_2$$

.....  
.....

$$y_n = \varphi_1 Z_{1n} + \varphi_2 Z_{2n} + \dots + \varphi_p Z_{pn} + \varepsilon_p$$

Lo anterior puede ser expresado en forma matricial

$$y = Z\theta + \varepsilon \quad (6)$$

Donde;

$$\begin{array}{ccccccc}
 y_1 & & Z_{11} & Z_{21} \dots & Z_{p1} & & \varphi_1 & & \varepsilon_1 & (7) \\
 y_2 & & Z_{12} & Z_{22} \dots & Z_{p2} & & \varphi_2 & & \varepsilon_2 \\
 \dots & & \dots & & & & \dots & & \dots \\
 \dots & & \dots & & & & \dots & & \dots \\
 y_n & & Z_{1n} & Z_{2n} \dots & Z_{pn} & & \varphi_p & & \varepsilon_p
 \end{array}$$

La función suma de cuadrados es la siguiente:

$$S(\varphi) = \sum_{u=1}^n (y_u - \varphi_1 Z_{1u} - \varphi_2 Z_{2u} - \dots - \varphi_p Z_{pu})^2 \quad (8)$$

En forma matricial

$$S(\varphi) = (y - Z\varphi)'(y - Z\varphi) \quad (9)$$

Los mejores estimadores de los coeficientes de la solución son aquellos que minimizan  $S(\varphi)$  y están dados por el siguiente conjunto de  $p$  ecuaciones:

$$\varphi_1 \Sigma Z_1 Z_1 + \varphi_2 \Sigma Z_1 Z_2 + \dots + \varphi_p \Sigma Z_1 Z_p = \Sigma Z_1 y_1 \quad (10)$$

$$\varphi_2 \Sigma Z_2 Z_1 + \varphi_2 \Sigma Z_2 Z_2 + \dots + \varphi_p \Sigma Z_2 Z_p = \Sigma Z_2 y_2$$

.....

.....

$$\varphi_p \Sigma Z_p Z_1 + \varphi_2 \Sigma Z_p Z_2 + \dots + \varphi_p \Sigma Z_p Z_p = \Sigma Z_p y_u$$

Esta es la forma general para la solución de un modelo lineal donde la solución del sistema de ecuaciones encuentra los valores de los coeficientes del modelo. La solución del sistema de ecuaciones lineales se puede obtener por determinantes. Sin embargo es necesario antes establecer una matriz cuadrada de la siguiente manera:

$$Z'Z\varphi = Z'y \quad (11)$$

Donde  $Z'$  es la matriz transpuesta de  $Z$ . El Procedimiento más común es obtener la inversa de la matriz  $(Z'Z)$  y el resultado multiplicarlo por  $Z'y$ .

$$\varphi = (Z'Z)^{-1} (Z'y) \quad (12)$$

### **III) DISEÑO CONSTRUCCION Y COSTO DE UNA COLUMNA DE FLOTACION PARA LABORATORIO**

Frecuentemente se requiere contemplar nuevas opciones de proceso o bien modificaciones que presenten un panorama más atractivo. La columna de flotación puede ser una técnica más para hacer posible la rentabilidad de operación de la concentración de minerales en la industria minera.

#### **III.1) DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA COLUMNA DE FLOTACION**

El modelo base a que se refiere, ha sido construido en el laboratorio de Metalurgia de Facultad de Ingeniería de la UNAM, construido bajo los siguientes lineamientos:

a) Que fuera un modelo de dimensiones y forma similar a los ya existentes en los países que han logrado un desarrollo vanguardista en la innovación tecnológica para la industria minero-metalúrgica.

b) Que ofreciera versatilidad de su manejo y operación al permitir mejor control de las diferentes variables de operación (altura de la columna, nivel de interfase, nivel de alimentación, etc.)

c) Que fuera construido a un bajo costo sin limitar su funcionalidad y operación.

Las características individuales de diseño y construcción de los módulos que integran la columna son incluidos en la descripción de sus diferentes constituyentes.

Las dimensiones en sección cuadrada de la columna es de 10 cm X 10 cm y altura variable que puede llegar a ser de 3 m, ( figura No. 16 ).

El cuerpo propiamente dicho de la columna esta construido por varios modulos intercambiables que serán descritos con mayor detalle a continuación:



**FIGURA No. 16** Vista general de la instalación de la columna de flotación

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA</b> <b>DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ</b>	<b>TRATAMIENTO DE MINERALES DE</b> <b>FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN</b> <b>(SICARTSA) POR FLOTACION EN</b> <b>CELDA Y COLUMNA</b>
<b>FIGURA No. 16</b>	<b>1995</b>

### **III.1.1) MODULOS DE ALTURA DE LA COLUMNA. ( método de fabricación ).**

Estos están contruidos de paredes de plástico acrílico transparente de 4 mm reforzados en sus esquinas con perfil en ángulo de aluminio de 13 mm X 1.5 mm. En su base y parte superior de cada módulo se tienen bridas de union que son comunes a todos los módulos que integran la columna. La unión y sellado se realiza con pegamento silicón transparente. Teniendo cuidado de mantener un adecuado paralelismo y perpendicularidad en las paredes ya que de no tenerlo, la verticalidad final de la columna no será la adecuada y por lo tanto la trayectoria ascendente de las burbujas se verá afectada. Las alturas individuales de cada módulo son de 10, 20 y 40 cm las cuales en conjunto nos permiten modificar la altura de la columna.

### **III.1.2) EMPAQUES Y TORNILLOS**

Intermedio entre las diferentes secciones cuando éstas son unidas, se utiliza una junta de hule blando que sirve como empaque sellador. Las dimensiones de las juntas al igual que las bridas unión de todos los módulos son de 16 cm X 16 cm de cuadrado exterior y 10 cm X 10 cm de cuadrado interior. El grosor del empaque es de 1.5 mm.

Para poder intercambiar los modulos y empaques de manera sencilla, se han utilizado perforaciones para los tornillos de unión que respetan un patron simétrico, permitiendo cambiar, voltear o girar cualquier módulo.

Los tornillos utilizados deben ser galvanizados, de bronce u otro material inoxidable. El grosor del tornillo es de 3/16" y el largo es variable, entre ellos 1", 1.5" y 2.5", dependiendo del sitio donde sean colocados. Se utilizan rondanas planas para dar mayor soporte y tuercas exagonales para mayor manejabilidad.

### **III.1.3) SOPORTES**

Para sostener la columna se utilizó un poste de tubo de fierro de 4" de diámetro y de 3 m de alto, montado sobre una plataforma horizontal de fierro de 6 mm que le da soporte por su parte inferior. Por su parte superior es soportado por placa de fierro de 6 mm y perfil en ángulo de fierro de 25.4 mm X 3mm de grosor.



Para fijar y dar buena rigidez se sujeto a la pared y al piso con tornillos de 5/16" con taquetes de expansión.

Los soportes de la columna que van sujetos al poste son de perfil en ángulo de fierro de 32 mm X 3.5 mm de grosor. Estos tienen un diseño que permite su desplazamiento y colocación a cualquier altura a lo largo del poste. Así también permite su intercalamiento y ajuste entre los diferentes módulos de la columna.

Las partes críticas en la construcción de estos soportes ; primero es que deben ajustar exactamente las barras verticales al poste, para darle así el adecuado soporte por medio de las abrazaderas ; y segundo, en una horizontalidad exacta así como una superficie plana en la brida de unión. Para lograr lo segundo se le colocan a cada soporte dos acrilicos de igual forma que las bridas que son pegadas y selladas con silicón, por la parte inferior y superior del ángulo de fierro.

#### **III.1.4) DISPERSORES DE AIRE**

La formación de las burbujas es dada por los dispersores de aire, (de material de sílice sinterizado) generando burbujas en cuatro áreas planas de 2 X 10 cm. En otro módulo de dispersión de aire se instalaron 6 tubos de fibra sintética, emanando las burbujas de aire en toda el área del tubo de 5 mm de diámetro y sellados en sus extremos con pegamento epóxico.

Los dos tipos de dispersores mencionados han sido utilizados en las pruebas realizadas en la columna. Ambos modelos generan burbujas muy similares en diámetro y cantidad, pero el de fibra ha resultado más versátil al utilizar menor área para el paso de la pulpa cuando la columna se opera en circuito continuo.

Otra alternativa para los generadores de burbuja es la de construirlos con granalla de bronce sinterizada, resultando más conveniente por su mayor durabilidad y tener condiciones de formación de burbujas similares a los dos modelos anteriores.

### **III.1.5) AGUA DE LAVADO Y ZONA DE RECOLECCION DE ESPUMA.**

Para poder obtener una mayor selectividad de concentración se utiliza el agua de lavado, en gotas mediante una regadera. Este lavado permite una concentración más limpia, evitando que las partículas hidrofílicas que por acción mecánica hayan sido arrastradas y salgan por el derrame de la columna. Esta misma regadera facilita el rompimiento de la espuma en la zona de colección, facilitando el circuito continuo de la columna.

La regadera construida con tubo de cobre de 3/8" y es colocada en la parte más alta de la columna. La dosificación del agua puede ser variada de 1 a 2 l/min.

Para recolectar la espuma producida en la columna se cuenta con un módulo que puede ser diferenciado en tres partes; 1ª) Sección de 20 cm de la columna; 2ª) Zona de recolección de la espuma; y 3ª) Agua de lavado de la espuma.

### **III.1.6) ALIMENTACION DE LA PULPA A LA COLUMNA**

La Introducción de la pulpa a la columna se realiza por un módulo de alimentación, el cual ha sido diseñado para dar una distribución de la pulpa por las cuatro paredes internas de la columna. Los conductores por donde fluye la pulpa son de tubo de cobre de 3/8". Y para ser construido como módulo se cubrieron la parte superior e inferior con acrílico de 4 mm, de forma igual a las bridas; teniendo mayor soporte con ángulo de aluminio colocado intermedio a las bridas y por la parte externa a la tubería.

Las perforaciones de unión, igualmente respetan el patrón simétrico, lo que permite su intercalamiento y colocación a cualquier altura de la columna.

### **III.1.7) DESCARGA DE LA PULPA CONTENIDA EN LA COLUMNA**

Para vaciar la columna o bien mantener la columna en circuito continuo se cuenta con un módulo que tiene una llave de compuerta de 3/4"; esta sección sirve además de

fondo de la columna. La construcción igualmente es de acrílico reforzado con ángulo de aluminio.

La llave de esta sección regula el gasto de descarga y controla el tiempo de residencia de la partícula en la columna.

### **III.1.8) TANQUE DE ALIMENTACION A LA COLUMNA Y NIVEL DE INTERFASE**

Es importante el tanque de alimentación debido a que; a) Regula el nivel de la interfase pulpa-espuma, b) Controla simultáneamente el gasto de alimentación, y c) Regresa el sobreflujo al tanque de acondicionamiento.

a) Nivel de la interfase.- Se mantiene en cierta altura al considerarlo como un mismo nivel del tanque de alimentación. De desear bajar o subir este nivel requerirá de subir o bajar la columna por medio de los soportes.

El diseño ha permitido una adecuada suspensión de sólidos sin existir asentamientos de las partículas, cuando la columna se opera en circuito continuo. Este tanque se cambia por un embudo de alimentación rápida cuando la prueba se hace en circuito intermitente.

b) Control del gasto de alimentación.- Dependiendo de las características fisicoquímicas de cada mineral, el tiempo de flotación regularmente cambia entre las diferentes especies minerales por lo que la descarga de colas ( Q2 ) ( figura No. 6 ) de la columna en circuito continuo estará en función del tiempo de residencia de la partícula, dentro de la columna de flotación.

De igual modo el gasto de la pulpa Q2 en la descarga inferior regula la velocidad de alimentación Q1 a la columna, quedando el gasto de espuma Q3 como una función del gasto de alimentación Q1.

c) Regreso del sobreflujo al tanque de acondicionamiento.- Dado que se tiene un sobrebombeo de pulpa al tanque de alimentación, se regula el sobrante por gravedad, por medio de un ducto de retorno en el tanque de alimentación.

### **III.1.9) TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO**

La mezcla de mineral y agua forman la pulpa primaria, la cual es debidamente acondicionada con los reactivos químicos (colectores, depresores, reguladores de PH, dispersantes) en el tanque de acondicionamiento.

La etapa de acondicionamiento se puede dar en una tina cilíndrica de 50 lt de capacidad o bien en una tina rectangular de 60 lt de capacidad. Para la unidad de agitación mecánica se adaptó un agitador WEMCO de velocidad variable.

El acondicionamiento para pruebas intermitentes se realizó en una máquina de flotación convencional DENVER, alimentando una vez acondicionada por el embudo de alimentación.

Los dos modelos anteriores de agitación mecánica han sido utilizados por ser los disponibles en el laboratorio.

### **III.1.10) BOMBEO DE LA PULPA**

La conducción de la pulpa acondicionada del tanque de acondicionamiento al tanque de alimentación a la columna es realizado por una bomba centrífuga de 1/4 de caballo, la cual fue modificada en su impulsor para evitar sobrecarga y calentamiento.

El gasto de la pulpa bombeado es mayor al gasto de alimentación a la columna, por lo que la diferencia de estos retorna al tanque de acondicionamiento.

### **III.2) COSTO DE UNA COLUMNA DE FLOTACION A NIVEL LABORATORIO**

Para el propósito del presente análisis se han considerado precios de septiembre de 1991 resultando el costo de los materiales usados en la construcción de la columna de dimensiones de 10 x 10 x 350 cm, de \$1'954,000.00 sin considerar costo de mano de obra e indirectos. Los equipos periféricos (balanzas, flujómetros, bomba peristáltica, compresor, tanque de acondicionamiento y agitadores mecánicos) no son considerados.

De la inversión total se estima un 15 % adicional como parte de los gastos imprevistos y desperdicios. Resultando un costo de \$2'247,048.00( pesos MN.)

De acuerdo a un ritmo de uso normal se estima una funcionalidad de 3 años. Tiempo durante el cual para obtener una productividad satisfactoria, tendrá que haber cumplido;

- a) Versatilidad en su uso y manejo.
- b) Control adecuado de las variables de operación.
- c) Determinación de su funcionalidad sobre el mineral en estudio.

**(III.3) COSTO DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA COLUMNA DE FLOTACION**  
 ( No incluye costo de accesorios; Compresor, Acondicionador, Bomba peristáltica, etc.)

**CUADRO No. 4**

MATERIAL	CAANTIDAD ó N° DE PIEZAS	COSTO X PIEZA	COSTO X MATERIAL
Abrazadera de 9.5 mm (3/8") sin fin	5 PIEZAS	2,000 c/u	\$10,000.00
Abrazadera de 12.7 mm (1/2") sin fin	3 PIEZAS	2,000 c/u	\$6,000.00
Abrazadera de 19 mm (3/4") sin fin	4 PIEZAS	2,500 c/u	\$10,000.00
Abrazadera de 25.4 mm (1") sin fin	2 PIEZAS	2,000 c/u	\$5,000.00
Abrazadera de 152 mm (6") sin fin	4 PIEZAS	5,000 c/u	\$20,000.00
Abrazaderas fijas de 19 mm (3/4")	2 PIEZAS	800 c/u	\$1,600.00
Abrazaderas fijas de 38.1 mm (1 1/2")	2 PIEZAS	1,700 c/u	\$3,400.00
Acrílico de 4 mm de grueso	2.7 m <sup>2</sup>	225,000 m <sup>2</sup>	\$607,500.00
Codos de cobre (90°) de 9.5 mm (3/8")	12 PIEZAS	1,700 c/u	\$20,400.00
Codos de PVC (45°) de 38 mm (1 1/2")	2 PIEZAS	1,500 c/u	\$3,000.00
Codos de cobre (90°) de 19 mm (3/4")	2 PIEZAS	800 c/u	\$1,600.00
Dispersores de fibra sintética	6 PIEZAS	10,000 c/u	\$60,000.00
Dispersores de sílice sinterizado	4 PIEZAS	7,500 c/u	\$30,000.00
Electrodos de (1/8")	4 Kg	5,120 c/u	\$20,480.00
Espigas de 19 mm (3/4")	2 PIEZAS	10,000 c/u	\$20,000.00
Espigas de 25.4 mm (1")	2 PIEZAS	12,000 c/u	\$44,000.00
Espiga niple de 6.3 mm (1/4")	3 PIEZAS	6,000 c/u	\$18,000.00
Hula blanda para empaques	0.35 m <sup>2</sup>	342,860 m <sup>2</sup>	\$120,000.00
lija para plomería	3 m	3,000 c/u	\$9,000.00
Llave de compuerta de 12.7 mm (1/2")	2 PIEZAS	10,000 c/u	\$20,000.00
Llave de compuerta de 19 mm (3/4")	1 PIEZA	15,500 c/u	\$15,500.00
Llave de paso de agua de 9.5 mm (3/8")	1 PIEZA	15,000 c/u	\$15,000.00
Llaves múltiples de 4 salidas, 4 mm	2 PIEZAS	20,000 c/u	\$40,000.00
Manguera cristal de 4.7 mm, (3/16")	15 m	1,500 c/u	\$22,500.00
Manguera de 12.7 mm, (1/2")	14 m	2,500 c/u	\$35,000.00
Manguera de 25.4 mm, (1")	7 m	5,000 m	\$35,000.00
Manguera resistente a presión de 12.7 mm (1/2")	2 m	2,300 m	\$4,600.00
Manguera resistente a presión de 25.4 mm, (1")	0.4 m	8,000 m	\$3,200.00
Manguera de 5 mm de diametro interno	1 m	35,000 m	\$35,000.00
Niple codo de 19 mm, (3/4")	1 PIEZA	1,500 c/u	\$1,500.00
Niple corrido de 38.1 mm, (1 1/2")	1 PIEZA	3,500 c/u	\$3,500.00
Pasta corrosiva para soldar, 250 g.	1 PIEZA	4,000 c/u	\$4,000.00
Pegamento epóxico	2 PIEZAS	8,500 c/u	\$17,000.00
Pegamento PVC, 250 g.	1 PIEZA	5,000 c/u	\$5,000.00
Perfil (90°) de aluminio de 13 mm x 1.5 mm	32 m	2,200 m	\$70,400.00
Perfil (90°) de fierro 25.4 mm x 3 mm	2 m	2,167 m	\$4,330.00
Perfil (90°) de fierro 32 mm x 3.5 mm	4 m	2,666 m	\$10,670.00
Perfil (90°) de fierro 38 mm x 3.5 mm	12 m	3,333 m	\$40,000.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
 DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
 ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ

TRATAMIENTO DE MINERALES DE  
 FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN  
 (SICARTSA) POR FLOTACION EN  
 CELDA Y COLUMNA.

CUADRO No. 4  
 (CONTINUA...)

1995

(CONTINUACION CUADRO No. 4 )

**III.3) COSTO DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA COLUMNA DE FLOTACION**  
 ( No incluye costo de accesorios; Compresor, Acondicionador, Bomba peristáltica, etc.)

Pintura	2 lt	15,000 c/lt	\$30,000.00
Placa de fierro calibre 18	0.1 m <sup>2</sup>	28,700 m <sup>2</sup>	\$2,870.00
Placa de fierro de 6.3 mm, (1/4")	1.5 m <sup>2</sup>	134,420 m <sup>2</sup>	\$201,630.00
Reducciones Bushing cobre 12.7 a 9.5 mm	2 PIEZAS	800 c/u	\$1,600.00
Reducciones Bushing cobre de 19 a 6.3 mm	2 PIEZAS	800 c/u	\$1,600.00
Rondanas planas galvanizadas 4.8 mm	260 PIEZAS	90 c/u	\$23,400.00
Rondanas planas 7.9 mm (5/16")	11 PIEZAS	150 c/u	\$550.00
Rondanas de presión 7.9 mm (5/16")	2 PIEZAS	60 c/u	\$120.00
Silicon transparente, 300 ml	4 PIEZAS	13,200 c/u	\$52,800.00
Soldadura de estaño, 50-50	6 M	3,000 m	\$18,000.00
T° de cobre de 9.5 mm (3/8")	5 PIEZAS	4,000 c/u	\$20,000.00
T° de cobre de 12.7 mm (1/2")	1 PIEZA	1,200 c/u	\$1,200.00
T° de plástico de 4 mm	2 PIEZAS	2,000 c/u	\$4,000.00
Tapones capa de 9.5 mm (3/8")	2 PIEZAS	500 c/u	\$1,000.00
Taquetes de expansión de 7.9 mm, (5/16")	7 PIEZAS	1,930 c/u	\$13,510.00
Termómetro de superficie	1 PIEZA	4,000 c/u	\$4,000.00
Tornillos de 7.9mm x 50.8 mm	9 PIEZAS	215 c/u	\$1,935.00
Tornillos galvanizados 4.8 mm x 25.4 mm	130 PIEZAS	60 c/u	\$7,800.00
Tubo de cobre de 4.7 mm (3/16")	1 m	3,500 m	\$3,500.00
Tubo de cobre rígido de 9.5 mm (3/8")	2.5 m	9,000 m	\$22,500.00
Tubo de cobre rígido de 12.7 mm (1/2")	0.3 m	4,500 m	\$1,350.00
Tubo de fierro de 101 mm de diámetro (4") (cedula 30)	4 m	27,293 m	\$109,170.00
Tubo galvanizado de 19 mm	0.6 m	15,000 m	\$9,000.00
Tubo PVC de 38 mm	4 m	2,500 m	\$10,000.00
Tuercas de 7.9 mm (5/16")	2 PIEZAS	120 c/u	\$240.00
Tuercas de presión de 19 mm, (3/4")	2 PIEZAS	2,000 c/u	\$4,000.00
Tuercas de presión de 25.4 mm (1")	2 PIEZAS	1,000 c/u	\$6,000.00
Tuercas de presión de 38.1 mm (1 1/2")	2 PIEZAS	5,000 c/u	\$10,000.00

COSTO TOTAL \$1'953,955.00  
 15 % ADICIONAL \$ 293,093.00  
 COSTO FINAL \$2'247,048.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTRA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
(CONTINUACION) CUADRO No. 4	1995

## **IV) PRUEBAS DE LABORATORIO**

### **IV.1) CARACTERIZACION MINERALOGICA**

La caracterización del yacimiento se ha realizado en varios laboratorios de petrografía y minerografía, entre ellos en Facultad de Ingeniería UNAM.

La mineralogía descrita mediante la elaboración de láminas delgadas y superficies pulidas presenta coloraciones gris verdoso, gris oscuro, negro y en menor proporción el verde claro y blanco. Las texturas son afaníticas, brechoides y granoblásticas.

#### **Los minerales que constituyen la mena son;**

Principales	Magnetita Hematita
Secundarios	Ilmenita
Otros óxidos de fierro	Gohetita

#### **Los minerales que constituyen la ganga mineral son;**

Cuarzo	Pirita
Feldespatos potásicos (Ortoclasa)	Calcopirita
Plagioclasa (Oligoclasa-Andesina)	Calcita
Granate	Sillimanita
Arcillas	Andalucita
Epidota	Hornblenda
Sericita	
Minerales máficos alterados (Clorita-Epidota-Tremolita-Actinolita)	

### **IV.2) PREPARACION DEL MINERAL**

La muestra mineral fue obtenida de la alimentación a trituración terciaria de la planta concentradora de SICARTSA y consiste de material homogenizado de patios a granulometría



-2 1/2". Esta muestra fue enviada al Laboratorio de Metalurgia Facultad de Ingeniería para su preparación y tratamiento por flotación en celda y columna.

La muestra inicial peso 800 kg y fue reducida a 50 kg por cuarteos sucesivos para que quedara representativa en ley y granulometría. Se paso la muestra de 50 kg por la quebradora de quijadas de 4" x 7" y después por la quebradora Coffe Mill de cabeza giratoria, para obtener la granulometría de -10 mallas, que será el tamaño de alimentación a molienda. (Todo el tratamiento se esquematiza en la figura No. 17.)

Una vez obtenido el tamaño adecuado se homogenizó y cuarteo sucesivamente en partidores Jones para obtener muestras representativas de 1 kg para la alimentación al molino de bolas del laboratorio.

#### IV.3) MOLIENDA

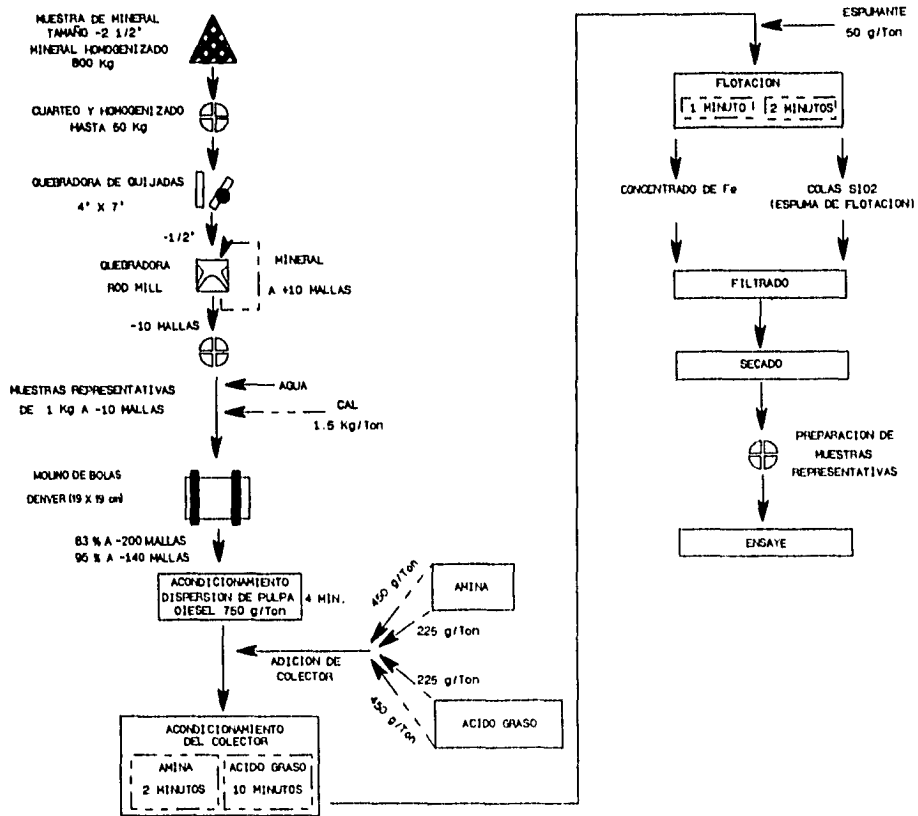
La molienda se realizó en un molino de bolas Denver de 19 x 19 cm con la distribución de bolas mostrada en el cuadro No. 5.

Tamaño	Peso (kg)	Nº de bolas
1 1/4"	5.068	32
1"	2.418	34
3/4"	1.255	45
1/2"	0.465	51
1/4"	0.094	90
total =	9.300	

La carga de alimentación al molino es de 1 kg de material, 1 litro de agua y cal cuando es requerido pH de 9.

El tiempo de molienda usado fue de 20 minutos a una velocidad de trabajo de 72 RPM. Como podrá verse en la granulometría de descarga más del 95 % del material se encuentra a -140 mallas, tamaño al cual se determinó una adecuada liberación del material por medio

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DEL MINERAL  
EN LABORATORIO, DE LA MINA "EL VOLCAN",  
POR FLOTACION EN CELDA CONVENCIONAL.**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 17	1995

del microscopio estereoscópico. La distribución granulométrica se observa en la figura No. 18.

#### **IV.4) CONCENTRACION DE OXIDOS DE FIERRO POR FLOTACION INVERSA EN CELDA CONVENCIONAL.**

Los tratamientos en celda convencional se realizaron en una máquina de flotación DENVER para laboratorio, usando celda con capacidad de 2.5 litro de pulpa; la entrada del aire a la celda es producida por el vacío que provoca el impulsor.

Cada prueba se realiza con 1 kg de muestra mineral previamente molida utilizando un 46 % de sólidos en el acondicionamiento y al inicio de la flotación.

La combinación de las variables por diseño factorial esta dada en el cuadro No. 6.

Los parámetros que se han mantenido constantes son;

Diesel = 750 g/ton, cuya función es dispersar la pulpa para evitar la coagulación de los minerales y además hacer una adsorción del reactivo más selectiva.

Espumante = 50 g/ton, cuya función será la de mantener una espuma consistente y apropiada. El tipo de espumante usado fue de base tipo glicol.

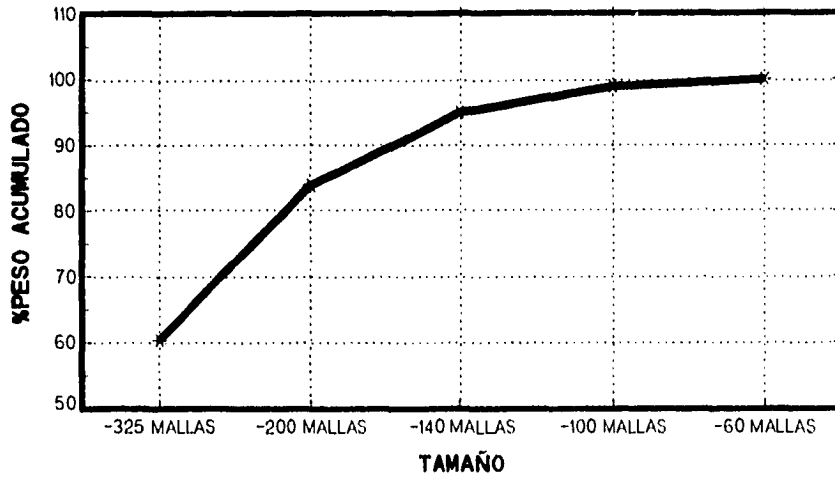
El Acido Graso usado (Marca Hercomin B-09 de Henkel Mexicana S.A. de C.V.) es un colector aniónico de tipo acido graso, siendo el acido Oleico su mayor constituyente.

La Amina usada ( Marca Katax B0-4632 de Henkel Mexicana S.A. de C.V.) es un colector catiónico soluble en agua.

Una vez obtenidos los productos se filtraron y secaron para su preparación física de ensaye.

## FIGURA No. 18 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA CABEZA MINERAL

% PESO ACUMULADO EN LA DESCARGA DEL MOLINO



Se observa más del 95 % del material a - 140 mallas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 18	1995

**CUADRO No. 6 COMBINACION DE VARIABLES**

NUMERO DE CORRIDA	VARIABLES				COMBINACION DE TRATAMIENTOS
	A = TIEMPO DE FLOTACION (MIN.)	B = pH	C = CONCENTRACION DE COLECTOR	D = TIPO DE COLECTOR	
1	1	7	225	ACIDO GRASO	1
2	2	7	225	ACIDO GRASO	A
3	1	9	225	ACIDO GRASO	B
4	2	9	225	ACIDO GRASO	AB
5	1	7	450	ACIDO GRASO	C
6	2	7	450	ACIDO GRASO	AC
7	1	9	450	ACIDO GRASO	BC
8	2	9	450	ACIDO GRASO	ABC
9	1	7	225	AMINA	D
10	2	7	225	AMINA	AD
11	1	9	225	AMINA	BD
12	2	9	225	AMINA	ABD
13	1	7	450	AMINA	CD
14	2	7	450	AMINA	ACD
15	1	9	450	AMINA	BCD
16	2	9	450	AMINA	ABCD

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
 DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
 ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ  
 TRATAMIENTO DE MINEHALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA

CUADRO No. 6

1995

Los análisis químicos fueron realizados en los laboratorios del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V.

El cuadro No. 7 presenta los balances de las pruebas en celda convencional de los 16 tratamientos y de sus respectivas repeticiones.

#### **IV.5) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA**

Este análisis se realizó por: a) Discriminación, b) Diseño de experimentos, y c) Superficies de respuesta. La finalidad ha sido la de comparar las diferencias que se pueden presentar en las respuestas óptimas de uno y otro método.

##### **IV.5.1) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA POR DISCRIMINACION.**

Para la evaluación de los resultados obtenidos se usaron valores promedio tanto de ley como de recuperación de fierro en el concentrado. La apreciación del mejor resultado radica en evaluar directamente el resultado de mayor valor.

En la gráfica de ley en el concentrado de fierro (figura No. 19) se observa; a) Un incremento marcado de la ley del concentrado de fierro conforme aumenta el tiempo de flotación; b) Notable disminución en la ley cuando se usa pH de 9 con ácido graso, no ocurriendo lo mismo para la amina a tiempo 2 de flotación; c) Incremento de ley cuando se adiciona más colector.

Por lo tanto si como objetivo principal dejamos la ley del concentrado de fierro, tendremos como mejores resultados las pruebas 6 y 16 teniendo como valores en el concentrado de fierro.

**Prueba 6 : 50.575 % de Fe y 86.135 % de recuperación**

**Prueba 16: 50.755 % de Fe y 83.300 % de recuperación**



Los análisis químicos fueron realizados en los laboratorios del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V.

El cuadro No. 7 presenta los balances de las pruebas en celda convencional de los 16 tratamientos y de sus respectivas repeticiones.

#### **IV.5) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA**

Este análisis se realizó por: a) Discriminación, b) Diseño de experimentos, y c) Superficies de respuesta. La finalidad ha sido la de comparar las diferencias que se pueden presentar en las respuestas óptimas de uno y otro método.

##### **IV.5.1) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA POR DISCRIMINACION.**

Para la evaluación de los resultados obtenidos se usaron valores promedio tanto de ley como de recuperación de fierro en el concentrado. La apreciación del mejor resultado radica en evaluar directamente el resultado de mayor valor.

En la gráfica de ley en el concentrado de fierro (figura No. 19) se observa; a) Un incremento marcado de la ley del concentrado de fierro conforme aumenta el tiempo de flotación; b) Notable disminución en la ley cuando se usa pH de 9 con ácido graso, no ocurriendo lo mismo para la amina a tiempo 2 de flotación; c) Incremento de ley cuando se adiciona más colector.

Por lo tanto si como objetivo principal dejamos la ley del concentrado de fierro, tendremos como mejores resultados las pruebas 6 y 16 teniendo como valores en el concentrado de fierro.

**Prueba 6 : 50.575 % de Fe y 86.135 % de recuperación**

**Prueba 16: 50.755 % de Fe y 83.300 % de recuperación**



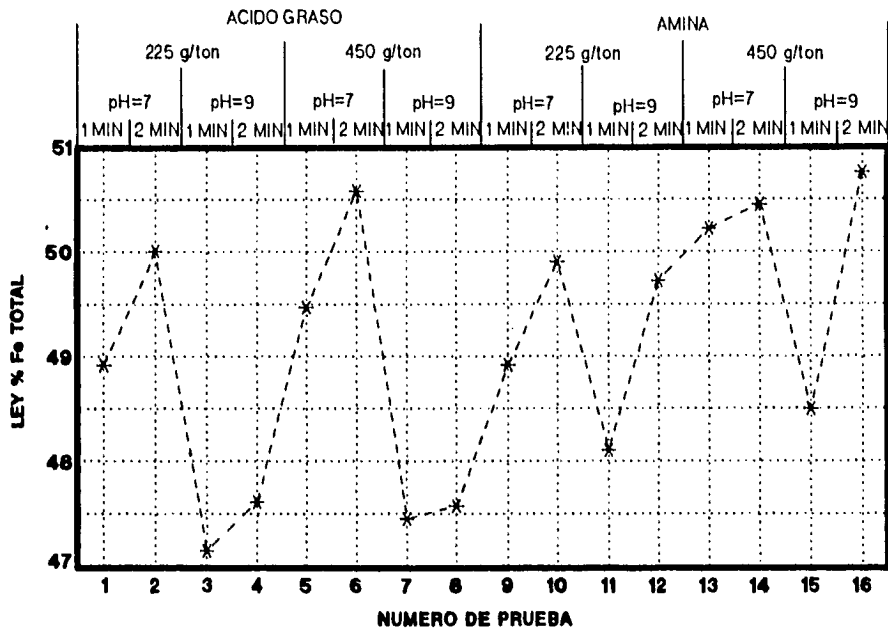




# LEY DE FIERRO EN EL CONCENTRADO

## FLOTACION EN CELDA CONVENCIONAL

\* PRUEBA DE LABORATORIO



**FIGURA No. 19** En el análisis de resultados por discriminación, se obtiene el mejor resultado al valor directamente los resultado de mayor valor, quedando como mejores valores las pruebas 6 y 16.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No.19	1995

La recuperación se ha dejado en segundo termino por tratarse de flotación inversa y por tener en el peor de los casos un 79.13 % de recuperación para la prueba 14. El comportamiento puede apreciarse en la figura No. 20.

#### **IV.5.2.) ANALISIS DE RESULTADOS OCUPANDO EL METODO QUE REPORTA DORENFELD.**

Para este caso se analizó el cálculo realizado por Dorenfeld y se creo un programa de computación ( Anexo No. 5 ) en lenguaje GWBASIC, con el fin de obtenerlo rápidamente. Los resultados obtenidos en base a los datos del cuadro No. 7, para ley y recuperación de los concentrados de fierro se presentan en los cuadros No. 8 y 9. Por último se incluye en el anexo No. 6, los resultados para silicio, azufre y por ciento en peso del concentrado de fierro.

#### **IV.5.3.) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA POR DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

Retomando el inciso II.4) , se determinó el conocer las variables significativas para la ley y recuperación del concentrado de fierro. Los resultados de las pruebas en celda mostrados en la tabla No. 4 han sido sumados en replicas de iguales parámetros, esto es, se han sumado las pruebas de cada número.El análisis de varianza y valores Fo de cada efecto significativo se obtuvieron usando el algoritmo de Yates para una corrida de 16 experimentos por duplicado.

##### **IV.5.3.1.) ANALISIS DE LEY EN EL CONCENTRADO DE FIERRO.**

En el cuadro No. 9 se tiene el algoritmo de Yates y el análisis de varianza para la ley. Se concluye que las variables significativas son A, B, C, D, BD, y ABD, pero de acuerdo a la distribución Fo para un 90 % de confiabilidad con 1 grado de libertad para el numerador y 25 grados de libertad para el denominador, quedan como variables significativas A, B, D y BD. Por lo tanto la variable C y ABD son de menor orden. De acuerdo a las gráficas No. 21, 22, 23 y 24 se concluye que los valores óptimos de los utilizados son:

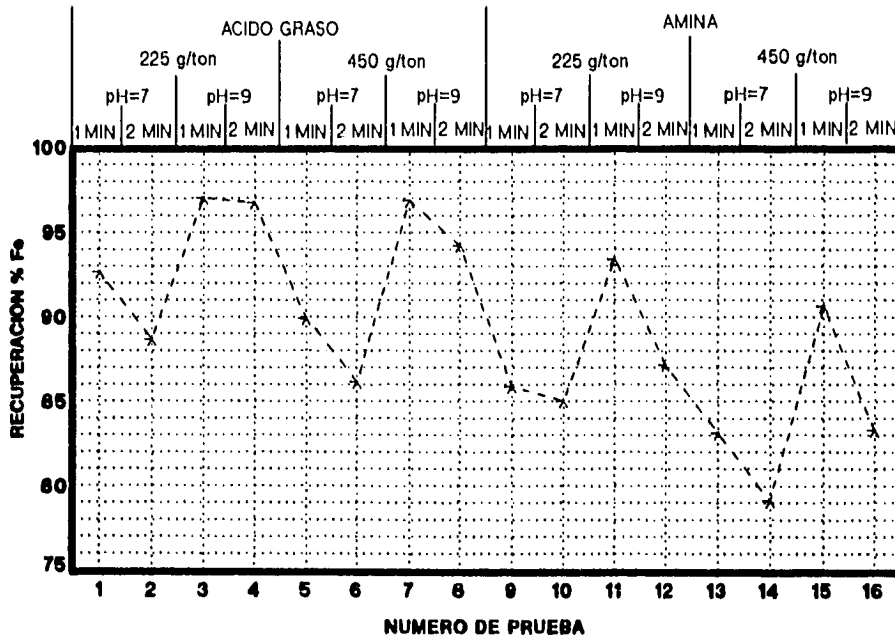
**A: TIEMPO DE FLOTACION = 2 MINUTOS**

**B: pH = 7**

**D: TIPO DE COLECTOR = AMINA**

## RECUPERACION EN CONCENTRADO DE FIERRO FLOTACION EN CELDA CONVENCIONAL

\* PRUEBA



**FIGURA No. 20** En el análisis de resultados por discriminación se ha dejado en segundo termino por ocurrir en el peor de los casos un 79.13 % de recuperación de fierro.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 20	1995

**CUADRO No. 8  
RESULTADOS DE LEY DE FIERRO POR EL METODO USADO POR DORENFELD.**

		Grados libertad (n - 1)	Suma de cuadrados (n S <sup>2</sup> )	Varianza nS <sup>2</sup> n-1
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>				
COLECTOR		1	7.6094	7.6094
CONCENTRACION		1	2.7109	2.7109
pH		1	16.7891	16.7891
TIEMPO DE FLOTACION		1	7.7422	7.7422
REPETICION		1	0.04687	0.04687
<b>INTERACCIONES DOBLES</b>				
pH - TIEMPO DE FLOTACION		1	0.1484	0.1484
pH - REPETICION		1	-0.0078	-0.0078
pH - CONCENTRACION		1	0.2265	0.2265
pH - COLECTOR		1	5.7656	5.7656
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION		1	-0.0078	-0.0078
TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION		1	0.0312	0.0312
TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	0.664	0.664
REPETICION - CONCENTRACION		1	0	0
REPETICION - COLECTOR		1	0.0078	0.0078
CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.4609	0.4609
<b>INTERACCIONES TRIPLES</b>				
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION		1	0.0234	0.0234
pH - TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION		1	0.125	0.125
pH - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	2.2734	2.2734
REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.0078	0.0078
REPETICION - CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION		1	0.0312	0.0312
REPETICION - CONCENTRACION - pH		1	0.0156	0.0156
REPETICION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	-0.0078	-0.0078
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	-0.0078	-0.0078
CONCENTRACION - COLECTOR - pH		1	-0.0234	-0.0234
pH - REPETICION - COLECTOR		1	0.0312	0.0312
<b>INTERACCIONES CUADRUPLAS</b>				
pH - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.05469	0.05469
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.0312	0.0312
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - COLECTOR		1	0.0234	0.0234
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION		1	-0.0078	-0.0078
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR - pH		1	0.414	0.414
<b>ERROR</b>	-0.0156			
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	45.1562			
<b>FACTOR DE CORRECCION</b>	77087			
		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA		
		<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA	
		CUADRO No. 8	1995	

**CUADRO No. 9  
RESULTADOS DE RECUPERACION DE FIERRO POR EL METODO USADO POR DORENFELD.**

	Grados libertad (n - 1)	Suma de cuadrados (n S <sup>2</sup> )	Varianza n S <sup>2</sup> n-1
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>			
COLECTOR	1	372.75	372.75
CONCENTRACION	1	66.8594	66.8594
pH	1	299.0938	299.0938
TIEMPO DE FLOTACION	1	106.2031	106.2031
REPETICION	1	0.0625	0.0625
<b>INTERACCIONES DOBLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION	1	1.9062	1.9062
pH - REPETICION	1	0.2968	0.2968
pH - CONCENTRACION	1	2.6406	2.6406
pH - COLECTOR	1	4.8593	4.8593
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	0.0781	0.0781
TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	5.0625	5.0625
TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	705781	705781
REPETICION - CONCENTRACION	1	0.0468	0.0468
REPETICION - COLECTOR	1	0.1875	0.1875
CONCENTRACION - COLECTOR	1	6.7656	6.7656
<b>INTERACCIONES TRIPLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	0.0156	0.0156
pH - TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	0.0625	0.0625
pH - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	22.9844	22.9844
REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	-0.0312	-0.0312
REPETICION - CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION	1	0.0156	0.0156
REPETICION - CONCENTRACION - pH	1	-0.0937	-0.0937
REPETICION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0781	0.0781
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.4844	0.4844
CONCENTRACION - COLECTOR - pH	1	0	0
pH - REPETICION - COLECTOR	1	-0.0312	-0.0312
<b>INTERACCIONES CUADRUPLAS</b>			
pH - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.125	0.125
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0625	0.0625
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - COLECTOR	1	0.0937	0.0937
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION	1	0.1406	0.1406
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR - pH	1	2.6094	2.6094
<b>ERROR</b>		0.03125	
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>		900.9375	
<b>FACTOR DE CORRECCION</b>		2555552	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
CUADRO No. 9	1995

**CUADRO No. 10**

**ALGORITMO DE YATES PARA UNA CORRIDA DE 16 EXPERIMENTOS**

**LEY DE FE EN EL CONCENTRADO (FLOTACION INVERSA)**

	VALORES Y				EFECTOS V					RESIDUOS Y - Y		Y2
	I	II	III	IV								
1	97,830	197,840	387,350	777,490	1570,600	98,163	II	MEDIA	0,449	9570,709		
2	100,010	189,510	390,140	793,110	15,740	1,968	I1	A	-0,406	10002,000		
3	94,290	200,090	393,280	5,570	-23,180	-2,898	I2	B	0,434	8890,604		
4	95,220	190,050	399,830	10,170	2,120	0,265	I3	AB	0,464	9066,848		
5	98,940	197,630	3,110	-18,370	9,340	1,168	I4	C	0,391	9789,124		
6	101,150	195,650	2,460	-4,810	-0,880	-0,110	I5	AC	-0,434	10231,323		
7	94,900	201,330	5,200	-3,210	-2,560	-0,320	I6	BC	-0,124	9006,010		
8	95,150	198,500	4,970	5,330	2,100	0,263	I7	ABC	-0,774	9053,523		
9	97,830	2,180	-8,330	2,790	15,620	1,952	I8	D	-0,876	9570,709		
10	99,800	0,930	-10,040	6,550	4,600	0,575	I9	AD	0,194	9960,040		
11	96,210	2,210	-1,980	-0,650	13,560	1,695	I10	BD	-0,226	9256,364		
12	99,440	0,250	-2,830	-0,230	8,540	1,068	I11	ABD	-0,031	9888,314		
13	100,440	1,970	-1,250	-1,710	3,760	0,470	I12	CD	0,566	10088,194		
14	100,890	3,230	-1,960	-0,850	0,420	0,053	I13	ACD	0,116	10178,792		
15	96,990	0,450	1,260	-0,710	0,860	0,108	I14	BCD	-0,614	9407,060		
16	101,510	4,520	4,070	2,810	3,520	0,440	I15	ABCD	0,871	10304,280		
SUM	1570,6											
S*S	154174											

A=TIEMPO DE FLOTACION  
B=pH  
C=CONCENTRACION DE COLECTOR  
D=TIPO DE COLECTOR

SUM	154263,893
SST	89,8701

**INVERSO DEL ALGORITMO DE YATES**

	EFECTOS INVERSOS V				VALORES Y ESTIMADOS					RESIDUOS
	I	II	III	IV						
1	0	0,000	0,000	37,720	1610,220	100,639	II	ABCD	0,871	
2	0	0,000	37,720	1572,500	1561,660	97,604	I1	BCD	-0,614	
3	0	22,100	9,340	20,640	1612,380	100,774	I2	ACD	0,116	
4	0	15,620	1563,160	1541,020	1597,980	99,874	I3	CD	0,566	
5	8,54	0,000	0,000	-6,480	1591,540	99,471	I4	ABD	-0,031	
6	13,56	9,340	20,640	1618,860	1542,980	96,436	I5	BD	-0,226	
7	0	-23,180	9,340	10,600	1593,700	99,606	I6	AD	0,194	
8	15,62	1586,340	1531,680	1587,380	1579,300	98,706	I7	D	-0,876	
9	0	0,000	0,000	37,720	1534,780	95,924	I8	ABC	-0,774	
10	0	0,000	-6,480	1553,820	1520,380	95,024	I9	BC	-0,124	
11	0	5,020	9,340	20,640	1625,340	101,584	I10	AC	-0,434	
12	9,34	15,620	1609,520	1522,340	1576,780	96,549	I11	C	0,391	
13	0	0,000	0,000	-6,480	1516,100	94,756	I12	AB	0,464	
14	-23,18	9,340	10,600	1600,180	1501,780	93,856	I13	B	0,434	
15	15,74	-23,180	9,340	10,600	1606,660	100,416	I14	A	-0,406	
16	1570,6	1554,860	1578,040	1568,700	1558,100	97,381	I15	MEDIA	0,449	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ

TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.

CUADRO No. 10  
( CONTINUA... )

1995



ALGORITMO DE YATES PARA UNA CORRIDA DE 16 EXPERIMENTOS

CUADRO No. 10

ANALISIS DE VARIANZA

VAR	SS	GRAD LIB	SSMED	F
A	7,742	1	7,742	4,122
B	16,791	1	16,791	8,839
C	2,726	1	2,726	1,451
D	7,825	1	7,825	4,059
BD	5,746	1	5,746	3,059
ABD	2,279	1	2,279	1,213

ERRO	46,961	25	1,876
------	--------	----	-------

TOTAL SST	89,870	31	2,899
-----------	--------	----	-------

1) NORMALIDAD DE RESIDUOS RESIDUOS DE MENOR A MAYOR		2) INDEPENDENCIA ESTADISTICA Nº DE PRUEBA ORDEN ALEATORIO		3) ANALISIS DE VARIANZA RESIDUOS y ESTIMADA			4) EFECTOS PRINC. DE MENOR A MAYOR	
NUMERO	RESIDUOS		RESIDUO			NUMERO	EFFECTOS	
1	-0,876	9	-0,876	0,434	93,856	1	-2,899	
2	-0,774	13	0,566	0,464	94,756	2	-0,32	
3	-0,614	1	0,449	-0,124	95,024	3	-0,11	
4	-0,434	5	0,391	-0,774	95,924	4	-0,053	
5	-0,406	3	0,434	-0,226	96,436	5	0,109	
6	-0,226	15	-0,614	0,449	97,361	6	0,263	
7	-0,124	7	-0,124	-0,614	97,504	7	0,265	
8	-0,031	11	-0,226	0,391	98,549	8	0,44	
9	0,116	10	0,194	-0,876	98,706	9	0,47	
10	0,194	14	0,116	-0,031	99,471	10	0,575	
11	0,391	2	-0,406	0,194	99,606	11	1,068	
12	0,434	6	-0,434	0,566	99,874	12	1,167	
13	0,449	4	0,464	-0,406	100,416	13	1,695	
14	0,464	16	0,871	0,871	100,639	14	1,952	
15	0,566	8	-0,774	0,116	100,774	15	1,968	
16	0,871	12	-0,031	-0,434	101,584			

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
 DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
 ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ

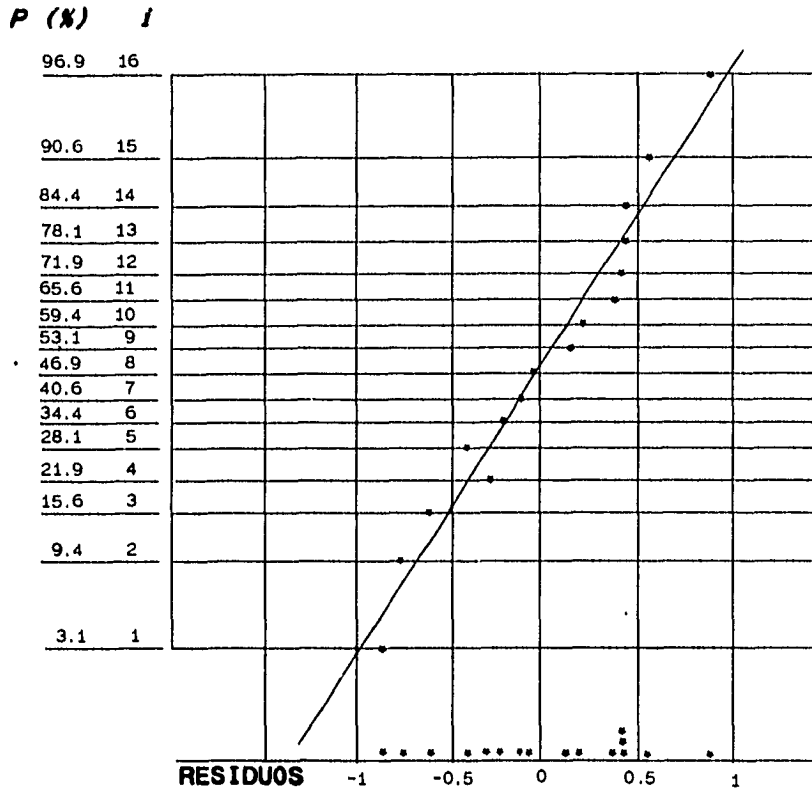
TRATAMIENTO DE MINERALES DE  
 FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN  
 (SICARTSA) POR FLOTACION EN  
 CELDA Y COLUMNA.

(CONTINUACION)  
 CUADRO No. 10

1995

**NORMALIDAD DE RESIDUOS  
PARA LEY DE CONCENTRADO DE FIERRO**

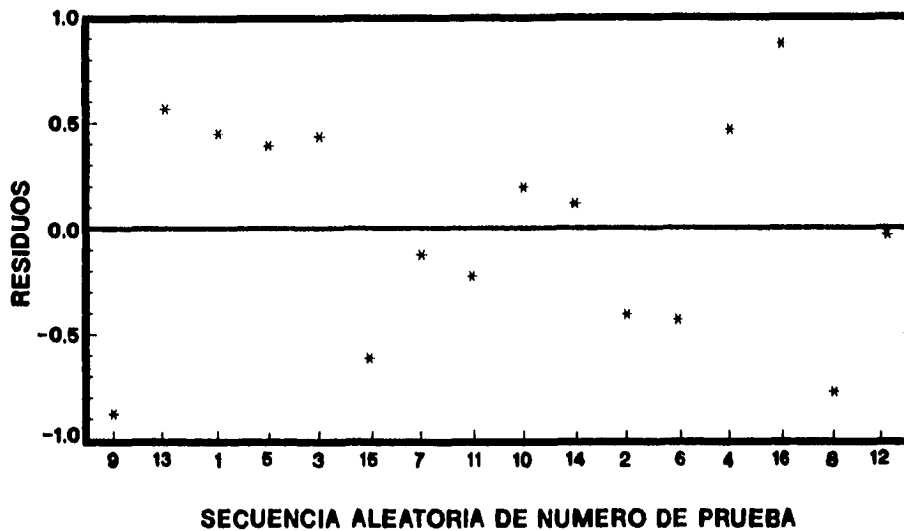
CORRIDA DE 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES  
CON REPETICION



**FIGURA No. 21** Se observa que al graficar los residuos de menor a mayor en papel de probabilidad normal, se tiene un comportamiento muy similar a una línea recta. Lo que permite continuar con la suposición de que el diseño es aceptado.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 21	1995

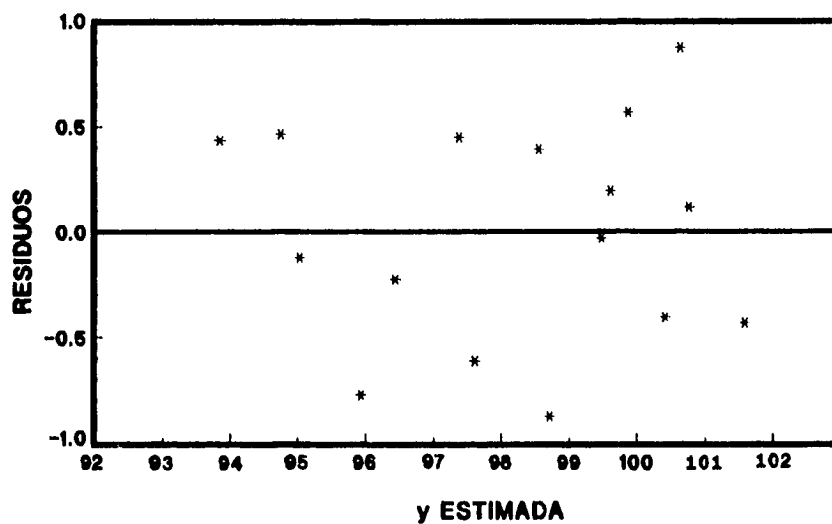
## INDEPENDENCIA ESTADISTICA PARA LEY EN CONCENTRADO DE FIERRO.



**FIGURA No. 22** Se observa que al graficar cada una de las pruebas contra los residuos, no debe existir alguna tendencia entre los puntos graficados para poder aceptar la suposición de validez del diseño. En este caso se acepta.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
FIGURA No. 22	1995

**ANALISIS DE VARIANZA  
PARA LEY EN CONCENTRADO DE FIERRO**

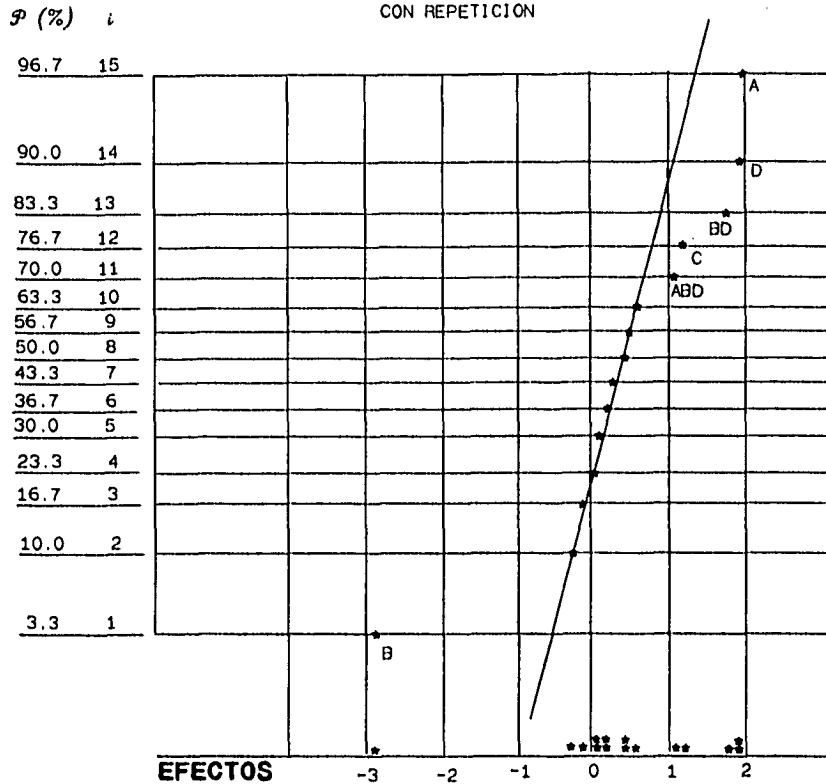


**FIGURA No. 23** Se observa que al graficar la  $\hat{y}$  y  $\hat{y}$  contra los residuos, no existe tendencia alguna entre los puntos graficados. Aceptando en este caso la suposición de validez del diseño.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
FIGURA No. 23	1995

## DETERMINACION DE EFECTOS PRINCIPALES PARA LEY DE CONCENTRADO DE FIERRO

CORRIDA DE 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES  
CON REPETICION



**FIGURA No. 24** Se observa que al graficar los 15 efectos principales de menor a mayor en papel de probabilidad normal, los efectos despreciables se ubican en la parte central constituyendo una línea recta, mientras que los efectos significativos están alejados de ésta.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 24	1995

La concentración del colector es de menor orden pero puede apreciarse la mejoría cuando, C: CONCENTRACION DEL COLECTOR = 450 g/ton, valor que se dejaría como constante por existir poca correlación.

#### **IV.5.3.2.) ANALISIS DE RECUPERACION EN EL CONCENTRADO DE FIERRO.**

En el cuadro No. 9 se tiene el algoritmo de Yates y el análisis de varianza para la recuperación. Se concluye que las variables significativas son A, B, C, D, BD y ABD, de acuerdo a la gráfica de efectos principales. Pero de acuerdo a la distribución  $F_0$  para un 90 % de confiabilidad con 1 grado de libertad para el numerador y 25 grados de libertad para el denominador quedan como variables significativas B y D, quedando como variables de menor orden A, C, BD y ABD.

De acuerdo al análisis de las figuras 25, 26, 27, y 28 se concluye que las mejores recuperaciones se tienen cuando;

**B = pH = 9**

**D = TIPO DE COLECTOR = ACIDO GRASO**

#### **IV.5.4.) ANALISIS DE RESULTADOS EN CELDA POR SUPERFICIES DE RESPUESTA**

Para este análisis se ha utilizado un paquete de software llamado StatGraphics 5.2 para la obtención de las superficies de respuesta por bloques tanto de ley como de recuperación.

Cada bloque grafica ; a) pH Vs Tiempo, b) Tiempo Vs Concentración, c) pH Vs Concentración. Dando un total de 12 gráficas con vista de 2 y 3 dimensiones. ( se incluyen las más importantes; figuras No. 29, 30, 31 y 32 ). Los datos usados fueron tomados de los promedios de los resultados en celda. (Cuadro No.7)

**CUADRO No. 11**

**ALGORITMO DE YATES PARA UNA CORRIDA DE 16 EXPERIMENTOS**

**RECUPERACION DE Fe (FLOTACION INVERSA)**

	VALORES Y	I	II	III	IV	EFECTOS V		RESIDUOS Y - y	y <sup>2</sup>	
1	185,250	362,560	750,110	1484,450	2859,680	178,730	II	MEDIA	-2,421	34317,563
2	177,310	387,550	734,340	1375,230	-58,280	-7,285	I1	A	0,314	31438,836
3	194,060	352,110	702,860	-21,370	97,820	12,228	I2	B	-2,449	37659,284
4	193,490	382,230	672,370	-36,910	-7,820	-0,977	I3	AB	0,876	37438,380
5	179,840	341,750	-8,510	55,110	-46,260	-5,783	I4	C	-2,049	32342,426
6	172,270	361,110	-12,860	42,710	-12,740	-1,593	I5	AC	1,056	29676,953
7	193,760	324,510	-14,260	9,650	9,120	1,140	I6	BC	3,034	37542,938
8	188,470	347,860	-22,650	-17,470	-0,960	-0,120	I7	ABC	1,639	35520,941
9	171,740	-7,940	24,990	-15,770	-109,220	-13,653	I8	D	1,111	29494,628
10	170,010	-0,570	30,120	-30,490	-15,540	-1,943	I9	AD	3,276	28903,400
11	186,820	-7,570	19,360	-4,350	-12,400	-1,550	I10	BD	0,574	34901,712
12	174,290	-5,290	23,350	-8,390	-27,120	-3,390	I11	ABD	-1,281	30377,004
13	166,250	-1,730	7,370	5,130	-14,720	-1,840	I12	CD	1,404	27639,063
14	158,260	-12,530	2,280	3,990	-4,040	-0,505	I13	ACD	-2,691	25046,228
15	181,260	-7,990	-10,800	-5,090	-1,140	-0,142	I14	BCD	0,796	32855,188
16	166,600	-14,660	-6,670	4,130	9,220	1,153	I15	ABCD	-3,189	27755,560
SUM	2859,68									
S*s	511110,6									

A=TIEMPO DE FLOTACION  
B=pH  
C=CONCENTRACION DE COLECTOR  
D=TIPO DE COLECTOR

SUM	512910,101
SST	1799,4948

**INVERSO DEL ALGORITMO DE YATES**

	I	II	III	IV	EFECTOS INVEROS V	VALORES Y ESTIMADOS	RESIDUOS		
1	0	0,000	0,000	-136,340	2716,620	169,789	II	ABCD	-3,189
2	0	0,000	-136,340	2852,960	2887,420	180,464	I1	BCD	0,796
3	0	-27,120	-46,260	-82,100	2575,220	160,951	I2	ACD	-2,691
4	0	-109,220	2899,220	2969,520	2637,540	164,846	I3	CD	1,404
5	-27,12	0,000	0,000	-82,100	2809,140	175,571	I4	ABD	-1,281
6	0	-46,260	-82,100	2657,320	2979,940	186,246	I5	BD	0,574
7	0	97,820	-46,260	-136,340	2667,740	166,734	I6	AD	3,276
8	-109,22	2801,400	3015,780	2773,880	2730,060	170,629	I7	D	1,111
9	0	0,000	0,000	-136,340	2989,300	186,831	I8	ABC	1,639
10	0	0,000	-82,100	2945,480	3051,620	190,726	I9	BC	3,034
11	0	27,120	-46,260	-82,100	2739,420	171,214	I10	AC	1,056
12	-46,26	-109,220	2703,580	3062,040	2910,220	181,889	I11	C	-2,049
13	0	0,000	0,000	-82,100	3081,820	182,614	I12	AB	0,876
14	97,82	-46,260	-136,340	2749,840	3144,140	196,509	I13	B	-2,449
15	-58,28	97,820	-46,260	-136,340	2831,940	176,996	I14	A	0,314
16	2859,68	2917,960	2820,140	2866,400	3002,740	187,671	I15	MEDIA	-2,421

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ.

TRATAMIENTO DE MINERALES DE  
FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN  
(SICARTSA) POR FLOTACION EN  
CELDA Y COLUMNA.

CUADRO No. 11  
(CONTINUA...)

1995

ALGORITMO DE YATES PARA UNA CORRIDA DE 16 EXPERIMENTOS

ANALISIS DE VARIANZA				
VAR	SS	GRAD LIB	SMED	F
A	106,142	1	106,142	2,863
B	299,024	1	299,024	8,065
C	66,875	1	66,875	1,804
D	372,782	1	372,782	10,055
BD	4,805	1	4,805	0,130
ABD	22,984	1	22,984	0,620
<b>ERROR</b> 926,694 25 37,075				
<b>TOTAL</b> 1799,495 31 58,048				
<b>SST</b>				

1) NORMALIDAD DE RESIDUOS RESIDUOS DE MENOR A MAYOR		2) INDEP. ESTAD.		3) ANALISIS DE VARIANZA		4) EFECTOS PRINC. DE MENOR A MAYOR		
NUM.	RESIDUO Y-y	N° PRUEBA ALEATORIO	RESIDUO Y - y	RESIDUOS	y ESTIMADA	NUMERO	EFFECTOS	
1	-3,189	9	1,111	1	-2,691	160,951	1	-13,653
2	-2,691	10	3,276	2	1,404	164,846	2	-7,285
3	-2,449	13	1,404	3	3,276	166,734	3	-5,782
4	-2,421	14	-2,691	4	-3,189	169,789	4	-3,390
5	-2,049	1	-2,421	5	1,111	170,629	5	-1,943
6	-1,281	2	0,314	6	1,056	171,214	6	-1,840
7	0,314	5	-2,049	7	-1,281	175,571	7	-1,592
8	0,574	6	1,056	8	0,314	176,996	8	-1,550
9	0,796	3	-2,449	9	0,796	180,464	9	-1,977
10	0,876	4	0,876	10	-2,049	181,889	10	-0,505
11	1,056	15	0,796	11	0,574	186,246	11	-0,142
12	1,111	16	-3,189	12	1,639	186,831	12	-0,120
13	1,404	7	3,034	13	-2,421	187,671	13	1,140
14	1,639	8	1,639	14	3,034	190,726	14	1,153
15	3,034	11	0,574	15	0,876	192,614	15	12,228
16	3,276	12	-1,281	16	-2,449	196,509		

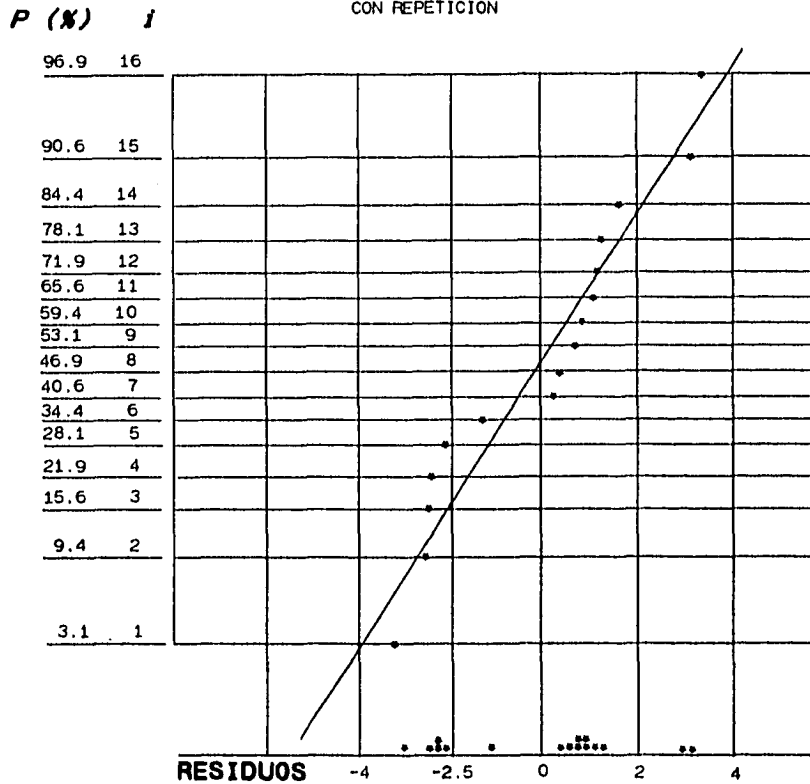
  

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ.	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
( CONTINUACION ) <b>CUADRO No. 11</b>	<b>1995</b>



## NORMALIDAD DE RESIDUOS PARA RECUPERACION DE FIERRO

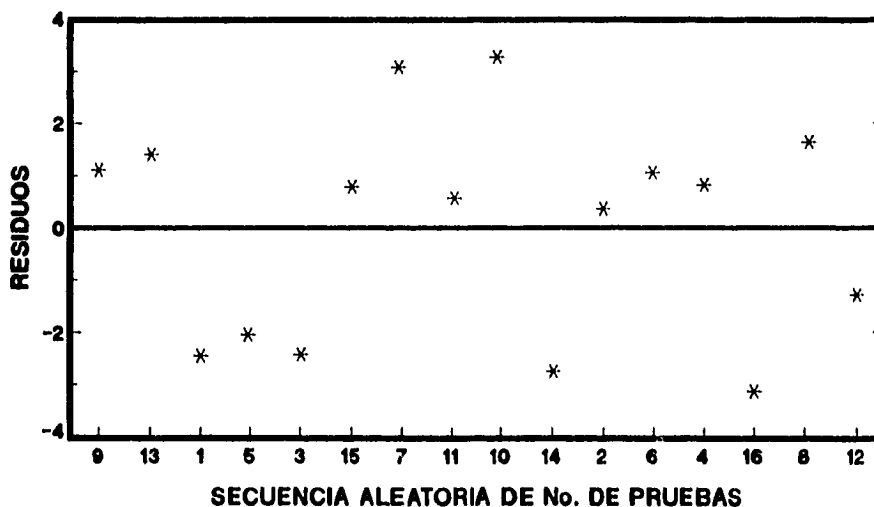
CORRIDA DE 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES  
CON REPETICION



**FIGURA No 25** Se observa que al graficar los residuos de menor a mayor en papel de probabilidad normal, se tiene un comportamiento muy similar a una línea recta. Lo que permite continuar con la suposición de que el diseño es aceptado.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 25	1995

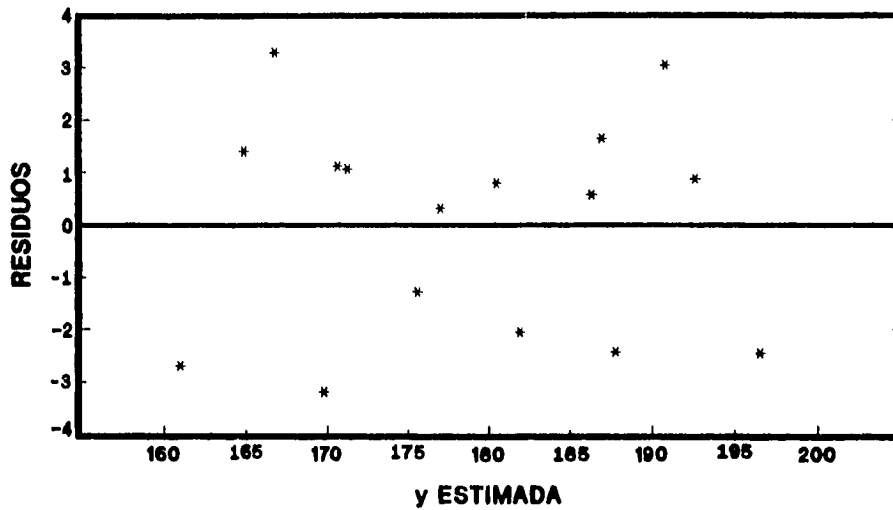
**INDEPENDENCIA ESTADISTICA  
PARA RECUPERACION DE FIERRO**



**FIGURA No. 26** Se observa que al graficar cada una de las pruebas contra los residuos, no debe existir alguna tendencia entre los puntos graficados para poder aceptar la suposición de validez del diseño, en este caso se acepta.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 26	1995

**ANALISIS DE VARIANZA  
PARA RECUPERACION DE FIERRO**

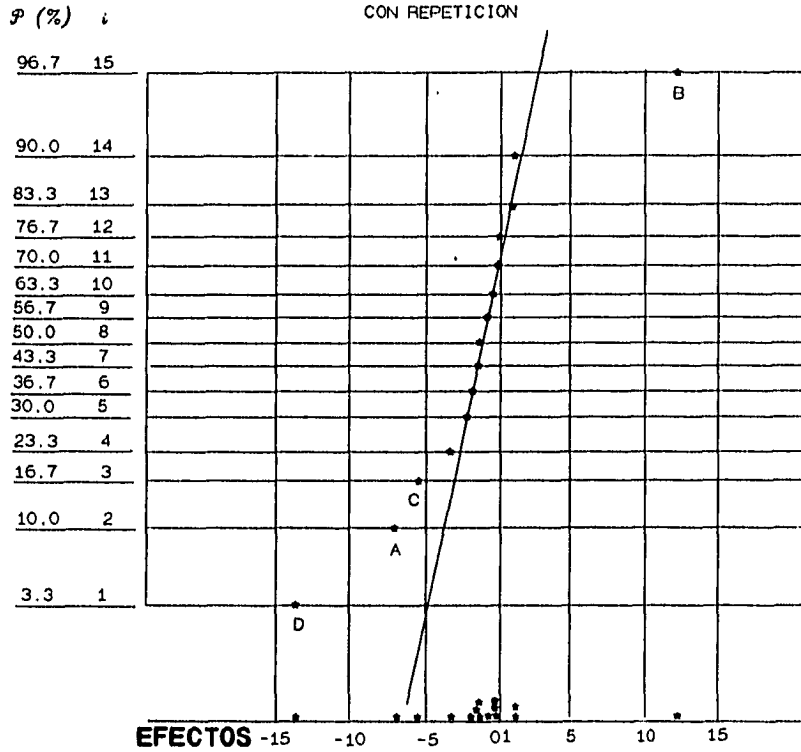


**FIGURA No. 27** Se observa que al graficar la \* y estimada \* contra los residuos, no existe tendencia alguna entre los puntos graficados. Aceptando en este caso la suposición de validez de diseño.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA NO. 27	1995

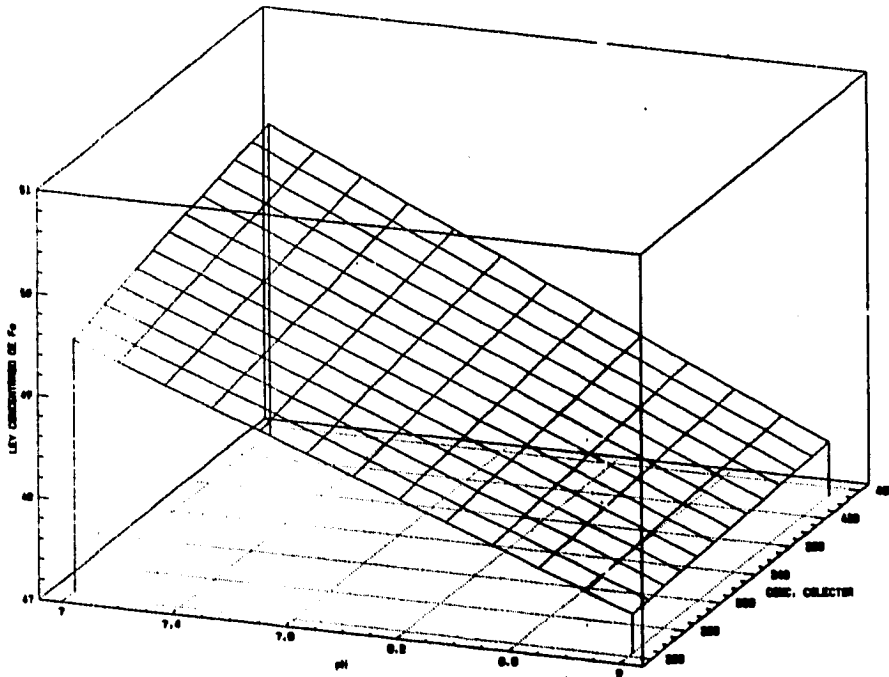
## DETERMINACION DE EFECTOS PRINCIPALES PARA RECUPERACION DEL CONCENTRADO DE FIERRO

CORRIDA DE 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES  
CON REPETICION



**FIGURA No. 28** Se observa que al graficar los 15 efectos principales de menor a mayor en papel de probabilidad normal, los efectos despreciables se ubican en la parte central constituyendo una línea recta, mientras que los efectos significativos están alejados de ésta.

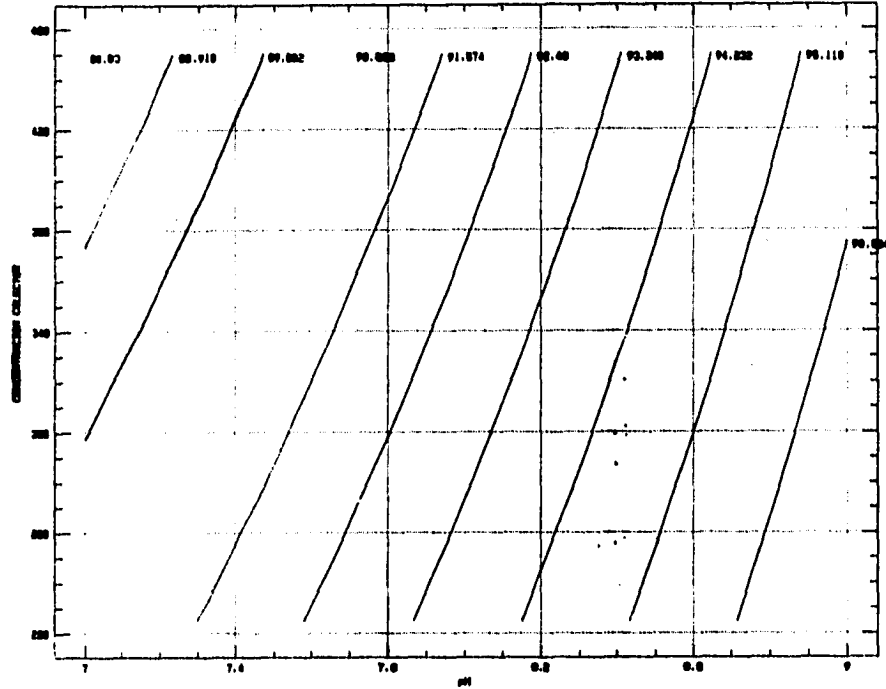
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNIA.
FIGURA No. 28	1995



**FIGURA No. 29** Superficie de respuesta para ley en el concentrado con uso de Acido Graso, variando pH y concentración de colector.

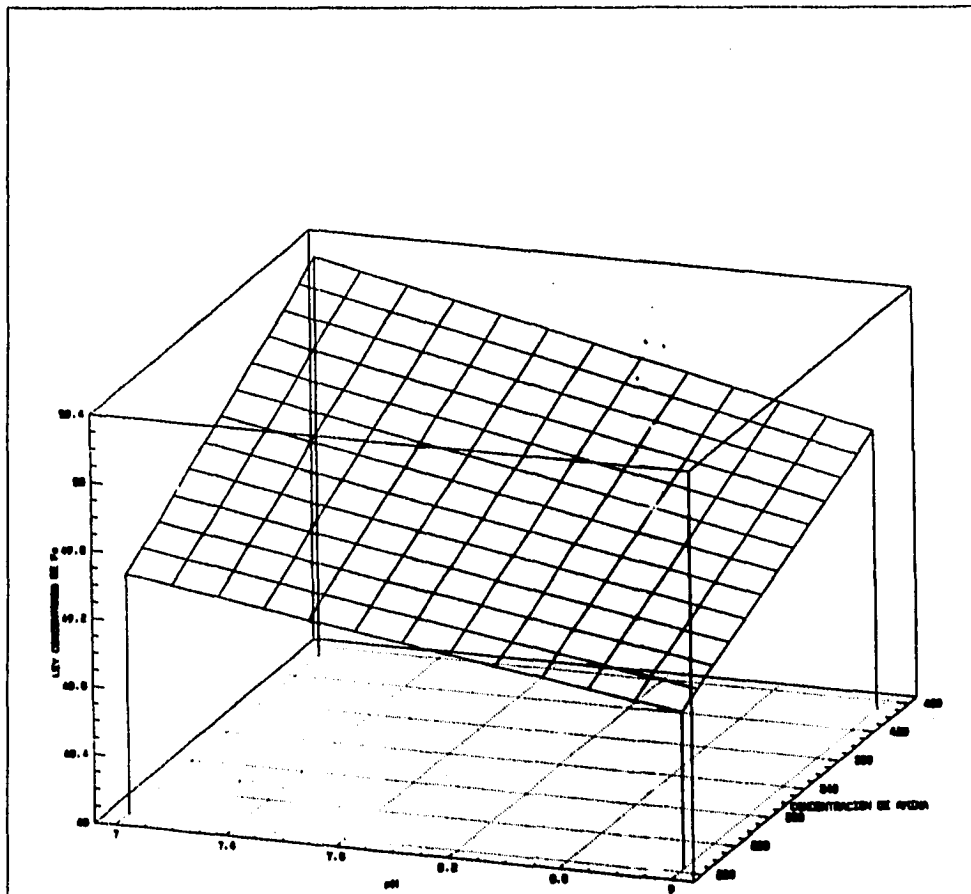
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARISA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 29	1995

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



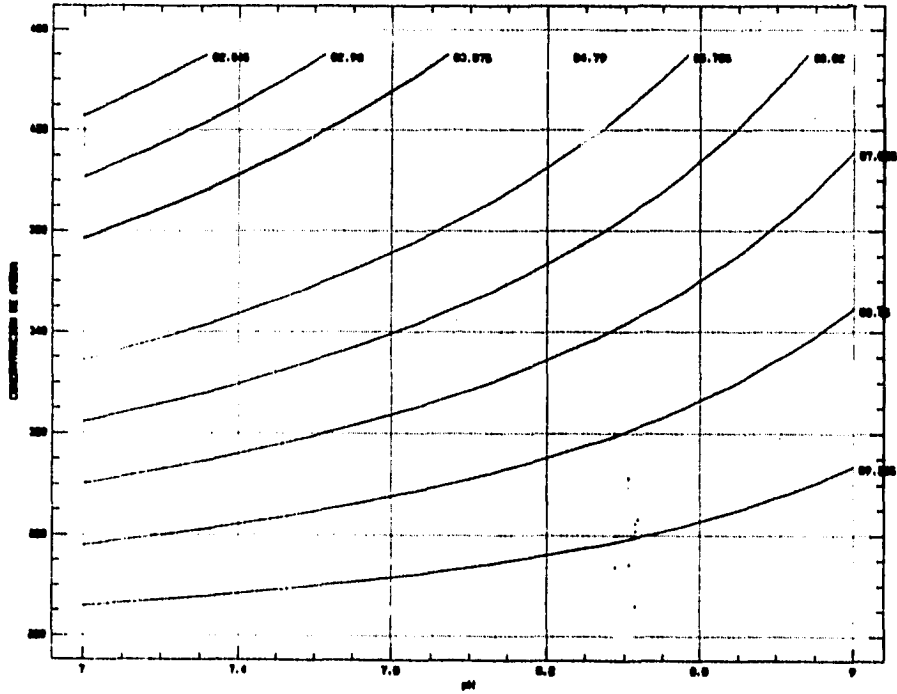
**FIGURA No. 30** Superficie de respuesta para recuperación en el concentrado con el uso de Acido Graso, variando pH y concentración de colector. ( Vista de dos dimensiones )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 30	1995



**FIGURA No. 31** Superficie de respuesta para ley en el concentrado con el uso de Amina, variando pH y concentración de colector.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 31	1985



**FIGURA No. 32** Superficie de respuesta para recuperación en el concentrado con el uso de Amina, variando pH y concentración de colector. ( Vista de dos dimensiones )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZÁLEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCÁN (SICARTSA) POR FLOTACIÓN EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 32	1995



Con las gráficas de superficies de respuesta se concluye;

Siendo;                    **A = TIEMPO DE FLOTACION**

**B = pH**

**C = CONCENTRACION DEL COLECTOR**

**a) Las tendencias óptimas para la ley del concentrado**

**ACIDO GRASO A = 2 MINUTOS ; B = 7 ; C = 450 g/ton.**

**AMINA            A = 2 MINUTOS ; B = 7 ; C = 450 g/ton.**

Obteniendo la mejor ley por bloque la amina

**b) Las tendencias óptimas para la recuperación del concentrado.**

**ACIDO GRASO A = 1 MINUTO ; B = 9 ; C = 225 g/ton**

**AMINA            A = 1 MINUTO ; B = 9 ; C = 225 g/ton**

Obteniendo la mejor recuperación por bloque el ácido graso.

De los incisos IV.5.1), IV.5.2) y IV.5.3) se concluye que no se pueden tener simultáneamente condiciones óptimas de recuperación y ley, por lo cual se tiene que sacrificar una para mejorar la otra.

#### **IV.5.4) REGRESION LINEAL MULTIPLE**

Como se puede apreciar es un diseño  $2^4$  donde se debe codificar para los valores bajos de las variables como ( - 1 ) y como valores altos ( 1 ). Para el caso del colector que es

variable cualitativa se considera como ( -1 ) para el uso de acido graso y ( 1 ) para el uso de amina.

De acuerdo a la ecuación general No. 4 del inciso II.5 tenemos las siguientes ecuaciones:

**MODELO MATEMATICO PARA LA LEY DEL CONCENTRADO DE FIERRO**

$$y_L = 49.05 + 0.4606 A - 0.7556 B + 0.2606 C + 0.4569 D \quad (13)$$

Factor de correlación = 0.8927

**MODELO MATEMATICO PARA RECUPERACION DEL CONCENTRADO DE FIERRO.**

$$y_R = 89.365 - 1.8212 A + 3.0569 B - 1.4456 C - 3.4131 D \quad (14)$$

Factor de correlación = 0.9689

El cálculo de los coeficientes de estos modelos matemáticos es incluida en el anexo No. 4 , (Cuadro No. 20 ).

**IV.6) CONCENTRACION DE OXIDOS DE FIERRO POR FLOTACION INVERSA EN COLUMNA DE FLOTACION.**

Las pruebas de flotación en columna fueron realizadas bajo los siguientes objetivos;

**PRUEBA I :** Comparar la mejor ley obtenida en el análisis por discriminación.

**PARAMETROS; A = TIEMPO = 2 MINUTOS**

**B = pH = 9**

**C = CONC. COLECTOR = 450 g/ton**

**D = TIPO COLECTOR = AMINA**

**PRUEBA II :** Comparar la mejor ley obtenida bajo los parámetros determinados por el análisis de diseño de experimentos y el análisis de superficie de respuesta ( Por considerarlo el mejor valor se efectuó por duplicado; pruebas 1 y 2 )

**PARAMETROS; A = TIEMPO = 2 MINUTOS**

**B = pH = 7**

**C = CONC. COLECTOR = 450 g/ton**

**D = TIPO COLECTOR = AMINA**

**PRUEBA III :** Comparar la mejor recuperación ( En este caso coincide en los tres análisis realizados )

**PARAMETROS; A = TIEMPO 1**

**B = pH = 9**

**C = CONC. COLECTOR = 225 g/ton**

**D = TIPO COLECTOR = ACIDO GRASO**

**PRUEBA IV :** Comparar un valor intermedio entre recuperación y ley obtenida.

**PARAMETROS; A = TIEMPO = 1**

**B = pH = 9**

**C = CONC. COLECTOR = 225 g/ton**

**D = TIPO COLECTOR = AMINA**

Los valores constantes al igual que en celda convencional son los siguientes:

Adición de Diesel; Se dosificaron 750 g/ton a la pulpa como etapa inicial de acondicionamiento dando un tiempo de 4 minutos.

Adición de espumante; Se uso 50 g/ton adicionado previamente a la alimentación de mineral a la columna, con el objeto de evitar la formación de espuma previa a la alimentación a la columna.

Los valores constantes adicionales usados en columna son;

Peso del mineral molido = 4 Kg

Altura de la pulpa = 250 cm

Altura de la espuma = 50 cm

Gasto de aire en dispersores = 20 l/min

Gasto de agua de lavado = 2 l/min

Por ciento de sólidos en la pulpa = 17 %

Los resultados obtenidos son los presentados en el cuadro No. 12.

#### **IV.7) ANALISIS DE RESULTADOS EN COLUMNA**

En el cuadro No. 13 pueden observarse la comparación de los resultados obtenidos en ley y recuperación en el concentrado de óxidos de hierro. Como puede verse en los resultados de las pruebas I y II enfocados a obtener la mejor ley de concentrado de Fe, varían de en el mejor de los casos de 50.44 a 51.5 % obteniéndose 1.06 % más de ley en la columna. En recuperación varía de 79.13 % a 94.57 %.

En la prueba III orientada a obtener la mejor recuperación, obtiene mejor recuperación en la columna por tratarse de flotación inversa, perdiendo objetividad al no flotar nada de impurezas. El valor varía de 97.03 % a 100 %.

En la prueba IV con valores intermedios de recuperación y ley, se observa una menor ley en el concentrado ( de 48.1 % a 47.8 % ) y una mayor recuperación ( de 93.41 % a 99.63 % ).

**CUADRO No. 12**

**RESULTADOS DE LA PRUEBAS EN COLUMNA DE FLOTACION**

PRODUCTO	LEYES			RECUPERACIONES	
	PFSO	Fe %	SiO2	Fe %	SiO2
CONC. Fe I	3485.00	51.00	11.40	93.88%	77.08%
COLAS I	463.30	25.00	25.50	6.12%	22.92%
	3948.30			100.00%	100.00%
CONC. Fe II	3535.00	51.50	11.30	94.57%	78.61%
COLAS II	418.00	25.00	26.01	5.43%	21.39%
	3953.00			100.00%	100.00%
CONC. Fe III	3990.00	46.40	14.46	100.00%	100.00%
COLAS III	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%
	3990.00			100.00%	100.00%
CONC. Fe IV	3945.00	47.80	13.98	99.63%	98.92%
COLAS IV	36.50	19.00	16.56	0.37%	1.08%
	3981.50			100.00%	100.00%

**CUADRO No. 13**

**Tabla comparativa de resultados obtenidos en celda contra columna.**

PRUEBA I	CELDA	COLUMNA
LEY % Fe	50.75 %	51.0 %
RECUPERACION	83.3 %	93.88 %
PRUEBA II	CELDA	COLUMNA
LEY % Fe	50.44 %	51.5 %
RECUPERACION	79.13 %	94.57 %
PRUEBA III	CELDA	COLUMNA
LEY % Fe	47.14 %	46.4 %
RECUPERACION	97.03 %	100%
PRUEBA IV	CELDA	COLUMNA
LEY % Fe	48.1 %	47.8 %
RECUPERACION	93.41 %	99.63 %

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>  ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
CUADROS No. 12 Y 13	<b>1995</b>

Con base en los resultados se obtuvo la distribución de valores de la prueba 1 en columna ( figura No. 33 ) y distribución granulométrica de los diferentes productos obtenidos en las pruebas 1 y 2 en referencia a la cabeza alimentada, observando los resultados mostrados en las figuras 34 y 35.

Del análisis de las muestras y de los resultados en columna resultan relevantes los siguientes puntos:

- a) Difícil flotabilidad y baja selectividad de partículas de mayor tamaño a 325 mallas.
- b) Hay mayor ley  $\text{SiO}_2$  y menor ley de Fe en los tamaños mayores de 200 mallas, ocurriendo lo contrario a tamaños menores de 200 mallas
- c) Adecuada selectividad de flotación a tamaños finos (menores a -325 mallas)
- d) Considerando los tres incisos anteriores, se infiere la posibilidad de tener mejores resultados a moliendas más finas.

#### **IV.8) COMENTARIOS**

De los estudios de laboratorio es posible determinar los parámetros preliminares de operación de las plantas piloto y ocasionalmente a nivel planta concentradora. Por esta razón es importante encontrar los puntos óptimos y la influencia de las variables metalúrgicas con un menor número de pruebas.

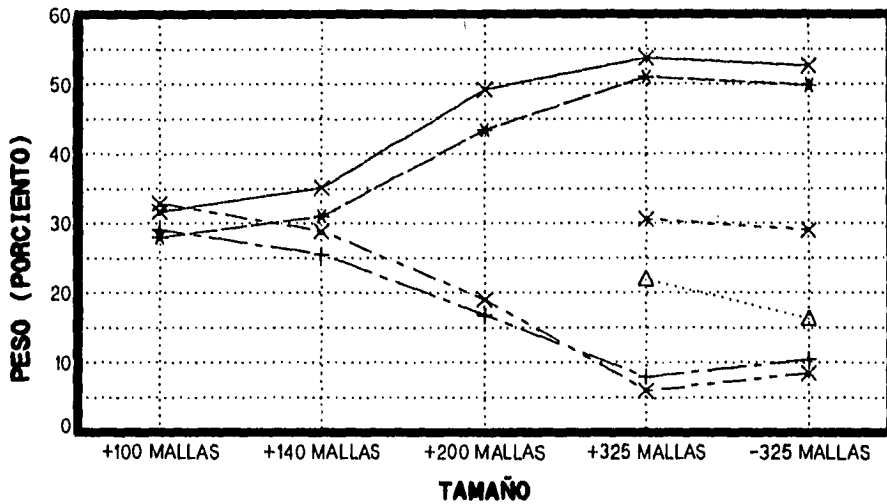
Dentro de la aplicación práctica es necesario avanzar con bases firmes, en una secuencia de bloques experimentales que permitan ir detallando las variables más significativas o bien que anulen las variables de menor orden, independientemente de la herramienta de análisis de resultados seleccionado.

En el presente estudio se incluye como mejor alternativa el usar el diseño factorial  $2^k$  ya que determina con mayor claridad la influencia de las variables y los valores a considerar.

## DISTRIBUCION DE VALORES

### CABEZA Y PRODUCTOS

Fe CABEZA - \* -      SiO2 CABEZ - + -      Fe EN COLA - X -  
 SiO2 EN COLAS - Δ -      Fe EN CONC - X -      SiO2 EN CONC - X -

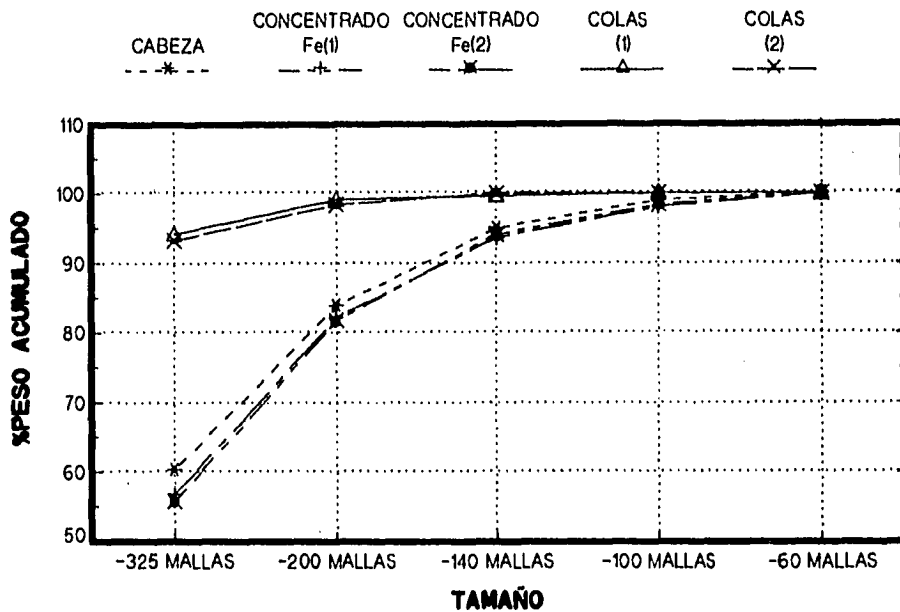


**FIGURA No. 33** Se observa en los tamaños mayores a 200 mallas, el incremento de la ley de sílice y disminuye la ley de hierro. A tamaños menores a 200 mallas disminuye la ley de sílice y aumenta la ley de hierro. Notando que en el producto flotado predominan los tamaños menores a 200 mallas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 33	1995

# DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

PORCIENTO EN PESO ACUMULADO

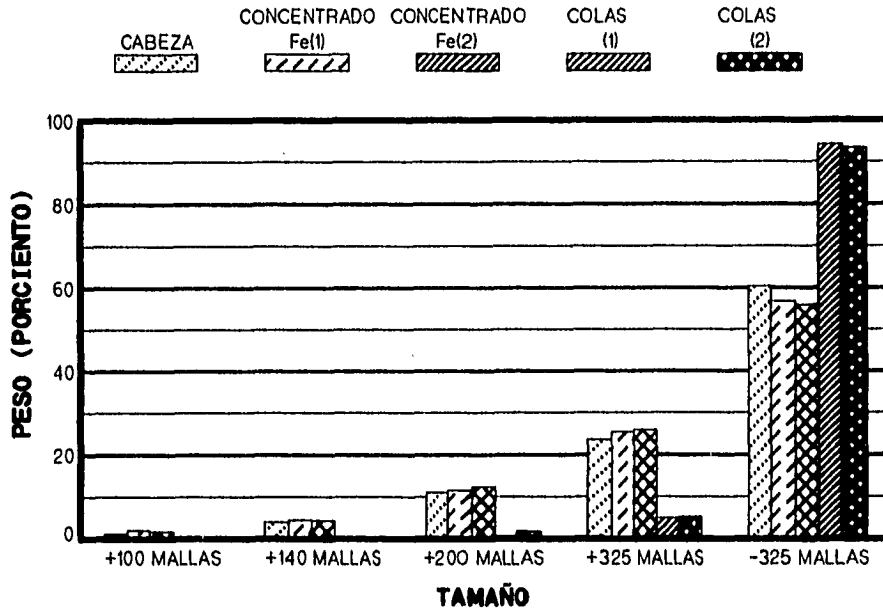


**FIGURA No. 34** Se observa gran diferencia en el por ciento acumulado entre los productos de la columna contra la cabeza alimentada, principalmente para las colas finales.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN
INGENIERO CONTRIBUYENTE GONZALEZ	ISCARTSA POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 34	1998



## DISTRIBUCION GRANULOMETRICA CABEZA Y PRODUCTOS



**FIGURA No. 35** Se muestra la comparación granulométrica de la cabeza mineral contra los productos de la columna, observando la dificultad para flotar las partículas mayores a 325 mallas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN ISCARISAI POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 35	1995

No se recomienda el análisis de resultados por discriminación por carecer de objetividad, incrementando normalmente el número de pruebas experimentales.

Los modelos matemáticos son más útiles que las superficies de respuesta debido a que los primeros pueden ser usados en simulaciones de proceso o bien en automatizaciones. Se recomiendan para casos en que ya estén definidas las variables.

## V) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### V.1) CONCLUSIONES

1. En el presente estudio sobre flotación inversa de óxidos de hierro ocupando el diseño factorial  $2^4$  y dentro de los límites preestablecidos para el primer bloque experimental, se determinaron como mejores parámetros; tiempo de flotación de 2 minutos, pH de 7, concentración de colector de 450 g/ton y el uso de amina como colector .

2. El diseño factorial permite por experiencia :

- a) Ahorrar tiempo de experimentación.
- b) Conocer el efecto de cada variable estudiada y sus posibles interacciones entre ellas.
- c) Lo anterior implica ahorro económico y orden en la experimentación.
- d) También pueden diseñarse simuladores de proceso.

3. En el análisis de resultados de las pruebas en celda se concluye que :

a) El análisis por discriminación tiene el inconveniente de NO reconocer la significancia de las variables.

b) En el análisis factorial  $2^4$  se puede determinar la influencia de las variables en estudio. Por ejemplo, en el cuadro No. 14, el tipo de colector y el pH usado tienen una mayor significancia en la recuperación y para la ley en el concentrado la variable mayor es el pH.

	<u>Fo para LEY</u>		<u>Fo para RECUPERACION</u>	
	Yates	Doerenfeld	Yates	Dorenfeld
Tiempo de flotación	4.122	7.7422	2.863	106.2031
pH	8.939	16.7891	8.065	299.0938
Concentración de colector	1.451	2.7109	1.804	66.8594
Tipo de colector	4.059	7.6094	10.055	372.75

Pero no se puede crear una superficie de respuesta en un sistema de suma de cuadrados.

c) Las superficies de respuesta de dos variables son menos útiles que los modelos matemáticos de tres o más variables, porque la capacidad de los modelos controlan mayor cantidad de variables que afectan el proceso, por ejemplo, los modelos matemáticos obtenidos de las pruebas de flotación en celda quedan:

**Modelo matemático para ley**

**donde:**

$$YL = 99.05 + 0.4606(\text{Tiempo de flotación}) - 0.7556(\text{pH}) + 0.2606(\text{Concentración de colector}) + 0.4569(\text{Tipo de colector})$$

Su factor de correlación es: 0.8927

**Modelo matemático para recuperación**

$$YR = 89.365 - 1.8212(\text{Tiempo de flotación}) + 3.0569(\text{pH}) - 1.4456(\text{Concentración de colector}) - 3.4131(\text{Tipo de colector})$$

Su factor de correlación es: 0.8689

Observando las graficas No. 29 y 31 obtenidas por StatGraphics 5.2, solamente incluye dos variables, que es sistema gráfico máximo para representar resultados de diseño factorial.

4. La columna de flotación obtuvo 94.57 % en recuperación y 51.5 % en ley en el concentrado, y la celda convencional 79.3 % y 50.44 % respectivamente.

5. En este caso la semejanza entre una celda convencional y una columna de flotación de laboratorio, operando en las mismas condiciones, no se cumple.

## **V.2) RECOMENDACIONES**

a) Si se desea continuar la investigación, es importante evaluar la molienda como una variable significativa.

b) Se recomienda el uso de diseños experimentales como método para la evaluación de variables de proceso.

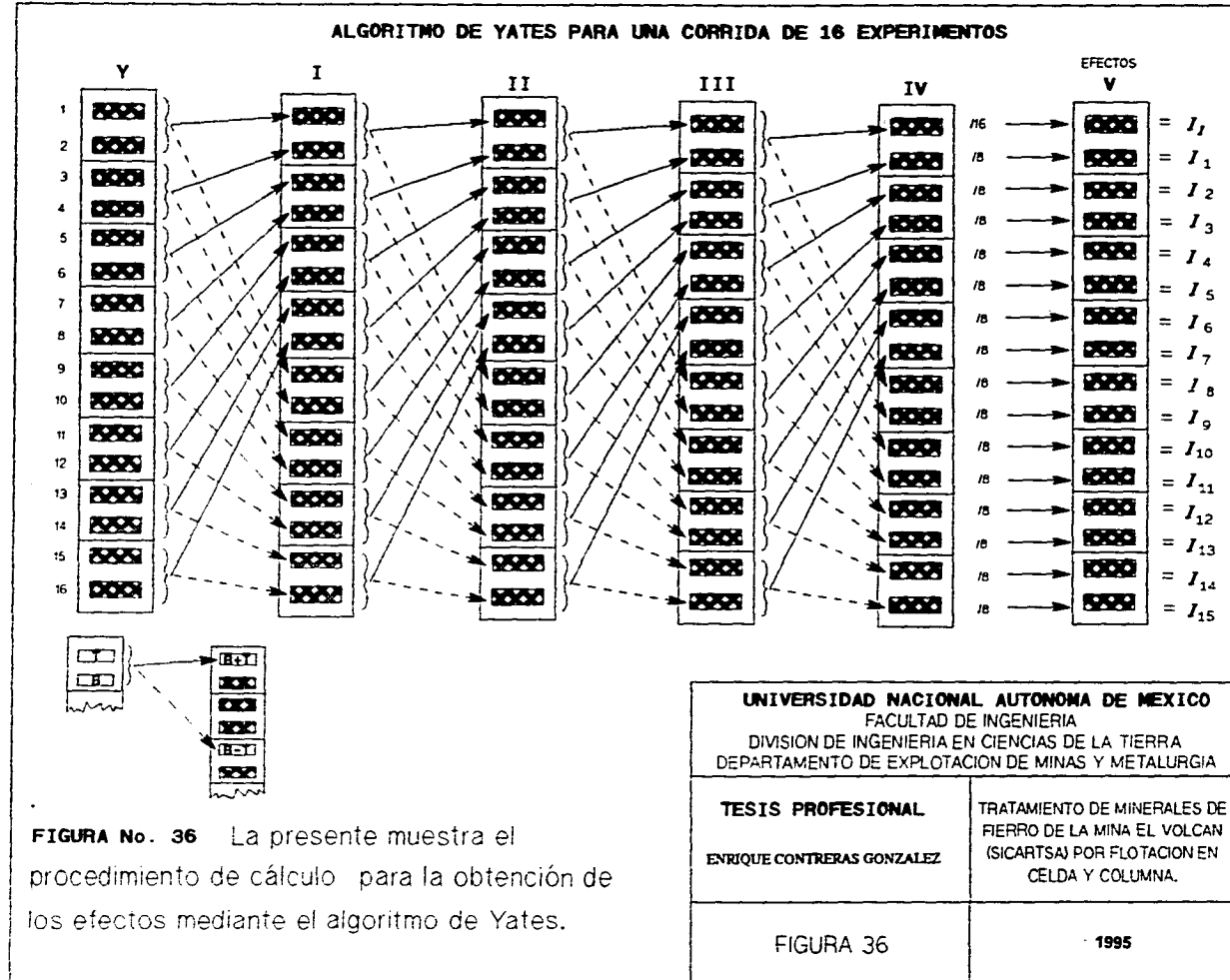
c) Se recomienda cuidar las variables no controlables que pudieran generar ruido experimental.

d) Se recomiendan el análisis de varianza para la simulación de procesos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Agar G.E. ; Huls, B.J. ; D.B. Hyma. COLUMN 1991 (International Conference on Column Flotation), Ontario Canada (1991).
- 2) Calderon J. TESIS "ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO DEL AREA EL VOLCAN. LAZARO CARDENAS MICH." S.L.P. México (1985).
- 3) Dorenfeld C. A. FIVE VARIABLE FLOTATION TEST USING FACTORIAL DESIGN, Mining Engineering , AIME , XII-1951. pp. 1073 - 1080.
- 4) Finch J. A. ; Dobby G. S. COLUMN FLOTATION, Ed. Pergamon press, Canada : (1993).
- 5) González P. - Sosa C. A. NOTAS SOBRE DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARTE 2 CIDT , SIPSA, Monterrey, México ( 1994 ).
- 6) Gy P. ; Fuerstenau D.W. INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESING, Ed. Elsevier, New York (1984). pp. 1-13, 193-211.
- 7) Herrera R. APUNTES DE FLOTACION DE MINERALES Instituto Tecnológico de Saltillo, México (1990).
- 8) Montgomery D. DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS, Ed. Iberoamerica, México D.F. (1991).
- 9) PROMINCO. MANUAL DE OPERACION DE CELDAS COLUMNA. MINERA BISMARCK. Chihuahua, México (1991).
- 10) Sastry K.V.S. COLUMN FLOTATION 88', Ed. AIME, Colorado (1988). pp. 91-102
- 11) Somasundaran P. ADVANCES IN COAL AND MINERAL PROCESSING USING FLOTATION, Ed. AIME, Colorado (1986).pp. 177-190.
- 12) Torres J.M. TESIS "ESTUDIO PETROGRAFICO Y MINERAGRAFICO DE LA MINA EL VOLCAN. SICARTSA S.A. DE C.V." SICARTSA - Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ( 1989 ).

# **ANEXO 1**



**FIGURA No. 36** La presente muestra el procedimiento de cálculo para la obtención de los efectos mediante el algoritmo de Yates.

# **ANEXO 2**





		Puntos porcentuales de la distribución F (continuación)																		
		$F_{\alpha, p_1, p_2}$																		
$p_2$	$p_1$	Grados de libertad para el numerador ( $p_1$ )																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33
2	1	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49
3	1	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	1	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76
5	1	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
6	1	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	1	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47
8	1	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29
9	1	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	1	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	1	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97
12	1	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90
13	1	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	1	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	1	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	1	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	1	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69
18	1	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	1	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	1	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	1	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	1	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.95	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	1	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55
24	1	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	1	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	1	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	1	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	1	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	1	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	1	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61				
40	1	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54				
60	1	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48				
120	1	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41				
$\infty$	1	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34				

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>  ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
<b>CUADRO No. 16</b>	<b>1995</b>

Puntos porcentuales de la distribución F (continuación)

v <sub>1</sub>	F <sub>α, v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub></sub>																			
	Grados de libertad para el numerador (v <sub>1</sub> )																			
v <sub>2</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	
3	10.13	9.55	9.38	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93							
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84							
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75							
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66							
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57							

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA

TESIS PROFESIONAL  
ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ

TRATAMIENTO DE MINERALES DE  
FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN  
(SICARTSA) POR FLOTACION EN  
CELDA Y COLUMNA.

CUADRO No. 17

1995



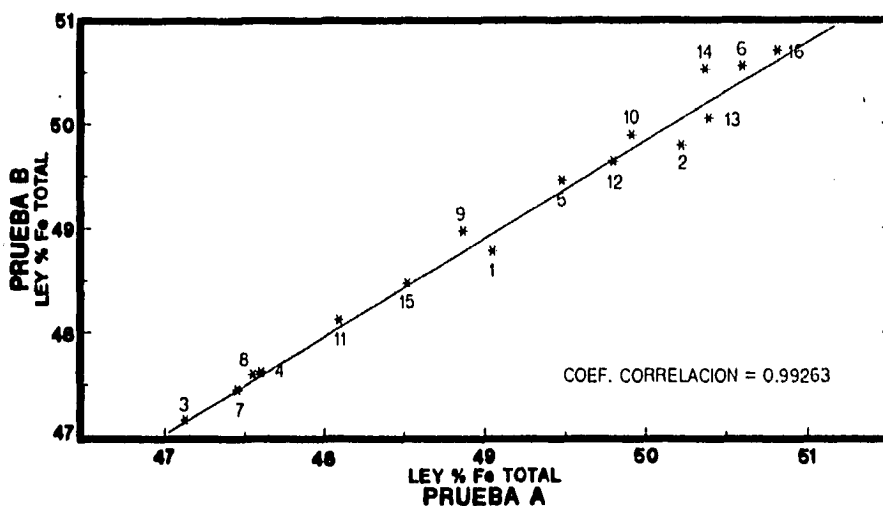


# **ANEXO 3**

# CORRELACION DE RESULTADOS DE LEY DE FIERRO EN CONCENTRADO DE FIERRO

( PRUEBAS REPLICADAS )

## PRUEBAS A VS PRUEBAS B



**FIGURA No. 37** Muestra la correlación existente entre las pruebas replicadas A y B, con relación a la ley de fierro en el concentrado de fierro.

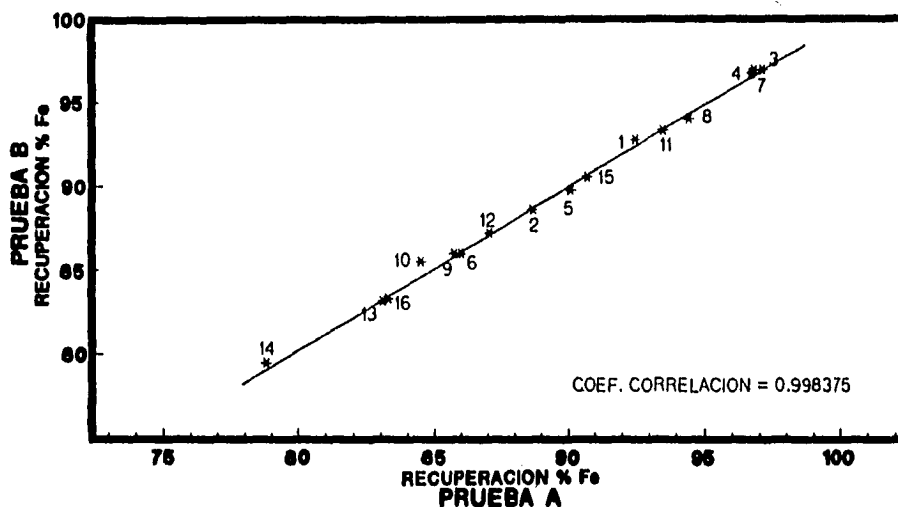
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b> ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 37	1995

# CORRELACION DE RECUPERACIONES DE FIERRO

## EN CONCENTRADO DE FIERRO

( PRUEBAS REPLICADAS )

### PRUEBAS A VS PRUEBAS B



**FIGURA No. 38** Muestra la correlación existente entre las pruebas replicadas A y B, con relación a la recuperación de hierro en el concentrado de hierro.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SCARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
FIGURA No. 38	1985



# **ANEXO 4**

CUADRO No. 20 Cálculo de coeficientes para los modelos matemáticos.

VARIABLES

	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1

Z =

1	-1	-1	-1	-1
1	1	-1	-1	-1
1	-1	1	-1	-1
1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	-1
1	1	-1	1	-1
1	-1	1	1	-1
1	1	1	1	-1
1	-1	-1	-1	1
1	1	-1	-1	1
1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1
1	-1	-1	1	1
1	1	-1	1	1
1	-1	1	1	1
1	1	1	1	1

Z' =

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1

Z'Z =

16	0	0	0	0	0	0	0	0
0	16	0	0	0	0	0	0	0
0	0	16	0	0	0	0	0	0
0	0	0	16	0	0	0	0	0
0	0	0	0	16	0	0	0	0
0	0	0	0	0	16	0	0	0
0	0	0	0	0	0	16	0	0
0	0	0	0	0	0	0	16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	16

(Z'Z)<sup>-1</sup> =

0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,06	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,06	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,06	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,06	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0,06	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,06	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,06	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0,06

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
CUADRO No. 20	1995

CUADRO No. 20 ( CONTINUACION ...) Cálculo de coeficientes para los modelos matemáticos.

LEY				RECUPERACION		
REAL	ESTIMADO	ERROR		REAL	ESTIMADO	ERROR
48,915	48,6275	0,287	1	92,625	92,988	-0,363
50,005	49,5487	0,4563	2	88,655	89,3456	-0,6906
47,145	47,1163	0,0287	3	97,03	99,1018	-2,0718
47,61	48,0375	-0,4275	4	96,745	95,4594	1,2856
49,47	49,1487	0,3213	5	89,92	90,0968	-0,1778
50,575	50,0699	0,5051	6	86,135	86,4544	-0,3194
47,45	47,6375	-0,1875	7	96,88	96,2106	0,6694
47,575	48,5587	-0,9837	8	94,235	92,5682	1,6668
48,915	49,5413	-0,6263	9	85,87	86,1618	-0,2918
49,9	50,4625	-0,5625	10	85,005	82,5194	2,4856
48,105	48,0301	0,0749	11	93,41	92,2756	1,1344
49,72	48,9513	0,7687	12	87,145	88,6332	-1,4882
50,22	50,0625	0,1575	13	83,125	83,2706	-0,1456
50,445	50,9837	-0,5387	14	79,13	79,6282	-0,4982
48,495	48,5513	-0,0563	15	90,63	89,3844	1,2456
50,255	49,4727	0,7823	16	83,3	85,742	-2,442

Z<sub>yL</sub> =

784,8
7,37
-12,09
4,17
7,31

Z<sub>yR</sub> =

1429,84
-29,14
48,91
-23,13
-54,61

RAICES L =

49,05	CTE
0,4606	A
-0,7556	B
0,2606	C
0,4569	D

RAICES R =

89,365	CTE
-1,8212	A
3,0569	B
-1,4456	C
-3,4131	D

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA.
( CONTINUACION ) CUADRO No. 20	1995

# **ANEXO 5**

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(1/8)

```

10 DIM XAUX ( 3, 3, 3, 3, 3), X(3, 3, 3, 3, 3), Y(3, 3, 3, 3, 3), Y1(3, 3, 3, 3), Y2(3, 3, 3), Y3(3, 3), Y4(3)
20 I1 = 2: 'Tiempo de flotación
30 J1 = 2: 'pH
40 K1 = 2: 'Concentración de colector
50 L1 = 2: 'Tipo de colector
60 M1 = 2: 'Repetición
70 FOR I = 1 TO I1
80 FOR J = 1 TO J1
90 FOR K = 1 TO K1
100 FOR L = 1 TO L1
110 FOR M = 1 TO M1
120 READ XAUX (I, J, K, L, M)
130 NEXT M
140 NEXT L
150 NEXT K
160 NEXT J
170 NEXT I
180 DATA 49.05
190 DATA 50.22
200 DATA 47.13
210 DATA 47.6
220 DATA 49.48
230 DATA 50.6
240 DATA 47.45
250 DATA 47.55
260 DATA 48.86
270 DATA 49.91
280 DATA 48.09
290 DATA 49.8
300 DATA 50.39
310 DATA 50.37
320 DATA 48.52
330 DATA 50.81
340 DATA 48.78
350 DATA 49.79
360 DATA 47.16
370 DATA 47.62
380 DATA 49.46
390 DATA 50.55
400 DATA 47.45
410 DATA 47.6
420 DATA 48.97
430 DATA 49.89
440 DATA 48.12
450 DATA 49.64
460 DATA 50.05
470 DATA 50.52
480 DATA 48.47
490 DATA 50.7

500 'COMBINACION No. 1+++FACTOR F+++++++
510 FOR I = 1 TO I1
520 FOR J = 1 TO J1
530 FOR K = 1 TO K1
540 FOR L = 1 TO L1
550 FOR M = 1 TO M1
560 X(I, J, K, L, M) = XAUX ( I, J, K, L, M)
570 NEXT M
580 NEXT L
590 NEXT K
600 NEXT J
610 NEXT I
620 GOSUB 2000
630 A01 = B01

640 'COMBINACION No. 25+++FACTOR C+++++++
650 FOR I = 1 TO I1
660 FOR J = 1 TO J1
670 FOR K = 1 TO K1
680 FOR L = 1 TO L1
690 FOR M = 1 TO M1
700 X(I, J, K, L, M) = XAUX (J, I, K, L, M)
710 NEXT M
720 NEXT L
730 NEXT K
740 NEXT J
750 NEXT I
760 GOSUB 2000
770 A02 = B01

780 'COMBINACION No. 31+++FACTOR G+++++++
790 FOR I = 1 TO I1
800 FOR J = 1 TO J1
810 FOR K = 1 TO K1
820 FOR L = 1 TO L1
830 FOR M = 1 TO M1
840 X(I, J, K, L, M) = XAUX (J, K, I, L, M)
850 NEXT M
860 NEXT L
870 NEXT K
880 NEXT J
890 NEXT I
900 GOSUB 2000
910 A03 = B01

( Continúa... )

```

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa . . )	1995

(... Continuación)

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(2/8)

```
920 'COMBINACION No. 33+++FACTOR X+++++++
930 FOR I = 1 TO I1
940 FOR J = 1 TO J1
950 FOR K = 1 TO K1
960 FOR L = 1 TO L1
970 FOR M = 1 TO M1
980 X(I, J, K, L, M) = XAUX (J, K, L, I, M)
990 NEXT M
1000 NEXT L
1010 NEXT K
1020 NEXT J
1030 NEXT I
1040 GOSUB 2000
1050 A04 = B01

1060 'COMBINACION No. 34+++FACTOR P+++++++
1070 FOR I = 1 TO I1
1080 FOR J = 1 TO J1
1090 FOR K = 1 TO K1
1100 FOR L = 1 TO L1
1110 FOR M = 1 TO M1
1120 X(I, J, K, L, M) = XAUX (J, K, L, M, I)
1130 NEXT M
1140 NEXT L
1150 NEXT K
1160 NEXT J
1170 NEXT I
1180 GOSUB 2000
1190 A05 = B01

1200 'COMBINACION No. 61+++FACTOR GX+++++++
1210 FOR I = 1 TO I1
1220 FOR J = 1 TO J1
1230 FOR K = 1 TO K1
1240 FOR L = 1 TO L1
1250 FOR M = 1 TO M1
1260 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, L, I, J, M)
1270 NEXT M
1280 NEXT L
1290 NEXT K
1300 NEXT J
1310 NEXT I
1320 GOSUB 2000
1330 A06 = C01 - A03 - A04 - FC

1340 'COMBINACION No. 62+++FACTOR GP+++++++
1350 FOR I = 1 TO I1
1360 FOR J = 1 TO J1
1370 FOR K = 1 TO K1
1380 FOR L = 1 TO L1
1390 FOR M = 1 TO M1
1400 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, L, I, M, J)
1410 NEXT M
1420 NEXT L
1430 NEXT K
1440 NEXT J
1450 NEXT I
1460 GOSUB 2000
1470 A07 = C01 - A03 - A05 - FC

1480 'COMBINACION No. 49+++FACTOR GC+++++++
1490 FOR I = 1 TO I1
1500 FOR J = 1 TO J1
1510 FOR K = 1 TO K1
1520 FOR L = 1 TO L1
1530 FOR M = 1 TO M1
1540 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, I, J, L, M)
1550 NEXT M
1560 NEXT L
1570 NEXT K
1580 NEXT J
1590 NEXT I
1600 GOSUB 2000
1610 A08 = C01 - A03 - A02 - FC

1620 'COMBINACION No. 7+++FACTOR GF+++++++
1630 FOR I = 1 TO I1
1640 FOR J = 1 TO J1
1650 FOR K = 1 TO K1
1660 FOR L = 1 TO L1
1670 FOR M = 1 TO M1
1680 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, K, J, L, M)
1690 NEXT M
1700 NEXT L
1710 NEXT K
1720 NEXT J
1730 NEXT I
1740 GOSUB 2000
1750 A09 = C01 - A03 - A01 - FC
```

( Continúa...)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa ...)	1995

(... Continuación )

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(3/8)

1760 'COMBINACION No. 65+++FACTOR XP+++++++	2190 'COMBINACION No. 52+++FACTOR PC+++++++
1780 FDR I = 1 TO I1	2200 FOR I = 1 TO I1
1790 FOR J = 1 TO J1	2210 FOR J = 1 TO J1
1800 FOR K = 1 TO K1	2220 FOR K = 1 TO K1
1810 FOR L = 1 TO L1	2230 FOR L = 1 TO L1
1820 FOR M = 1 TO M1	2240 FOR M = 1 TO M1
1830 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, L, M, I, J)	2250 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, I, L, M, J)
1840 NEXT M	2260 NEXT M
1850 NEXT L	2270 NEXT L
1860 NEXT K	2280 NEXT K
1870 NEXT J	2290 NEXT J
1880 NEXT I	2300 NEXT I
1890 GOSUB 2000	2310 GDSUB 2000
1900 A10 = C01 - A04 - A05 - FC	2320 A13 = C01 - A05 - A02 - FC
1910 'COMBINACION No. 51+++FACTOR XC+++++++	2330 'COMBINACION No. 10+++FACTOR PF+++++++
1920 FOR I = 1 TO I1	2340 FOR I = 1 TO I1
1930 FOR J = 1 TO J1	2350 FOR J = 1 TO J1
1940 FOR K = 1 TO K1	2360 FOR K = 1 TO K1
1950 FOR L = 1 TO L1	2370 FOR L = 1 TO L1
1960 FOR M = 1 TO M1	2380 FOR M = 1 TO M1
1970 X(I, J, K, L, M) = XAUX (K, I, L, J, M)	2390 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, K, L, M, J)
1980 NEXT M	2400 NEXT M
1990 NEXT L	2410 NEXT L
2000 NEXT K	2420 NEXT K
2010 NEXT J	2430 NEXT J
2020 NEXT I	2440 NEXT I
2030 GOSUB 2000	2450 GOSUB 2000
2040 A11 = C01 - A04 - A02 - FC	2460 A14 = C01 - A05 - A01 - FC
2050 'COMBINACION No. 9+++FACTOR XF+++++++	2470 'COMBINACION No. 1+++FACTOR CF+++++++
2060 FOR I = 1 TO I1	2480 FOR I = 1 TO I1
2070 FOR J = 1 TO J1	2490 FOR J = 1 TO J1
2080 FOR K = 1 TO K1	2500 FOR K = 1 TO K1
2090 FOR L = 1 TO L1	2510 FOR L = 1 TO L1
2100 FOR M = 1 TO M1	2520 FOR M = 1 TO M1
2110 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, K, L, J, M)	2530 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, K, L, M)
2120 NEXT M	2540 NEXT M
2130 NEXT L	2550 NEXT L
2140 NEXT K	2560 NEXT K
2150 NEXT J	2570 NEXT J
2160 NEXT I	2580 NEXT I
2170 GOSUB 2000	2590 GOSUB 2000
2180 A12 = C01 - A04 - A01 - FC	2600 A15 = C01 - A02 - A01 - FC

( Continúa....)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELOA Y COLUMNNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa . . )	1995

(.... Continuación )

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(4/8)

2610 'COMBINACION No. 91+++FACTOR GXP++++++  
2620 FOR I = 1 TO I1  
2630 FOR J = 1 TO J1  
2640 FOR K = 1 TO K1  
2650 FOR L = 1 TO L1  
2660 FOR M = 1 TO M1  
2670 X(I, J, K, L, M) = XAUX (L, M, I, J, K)  
2680 NEXT M  
2690 NEXT L  
2700 NEXT K  
2710 NEXT J  
2720 NEXT I  
2730 GOSUB 2000  
2740 A16 = D01 - A03 - A04 - A05 - A06 - A07 - A10 - FC

2750 'COMBINACION No. 73+++FACTOR GXC++++++  
2760 FOR I = 1 TO I1  
2770 FOR J = 1 TO J1  
2780 FOR K = 1 TO K1  
2790 FOR L = 1 TO L1  
2800 FOR M = 1 TO M1  
2810 X(I, J, K, L, M) = XAUX (L, I, J, K, M)  
2820 NEXT M  
2830 NEXT L  
2840 NEXT K  
2850 NEXT J  
2860 NEXT I  
2870 GOSUB 2000  
2880 A17 = D01 - A03 - A04 - A02 - A06 - A08 - A11 - FC

2890 'COMBINACION No. 13+++FACTOR GXF++++++  
2900 FOR I = 1 TO I1  
2910 FOR J = 1 TO J1  
2920 FOR K = 1 TO K1  
2930 FOR L = 1 TO L1  
2940 FOR M = 1 TO M1  
2950 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, L, J, K, M)  
2960 NEXT M  
2970 NEXT L  
2980 NEXT K  
2990 NEXT J  
3000 NEXT I  
3010 GOSUB 2000  
3020 A18 = D01 - A03 - A04 - A01 - A06 - A09 - A12 - FC

3030 'COMBINACION No. 4+++FACTOR PCF++++++  
3040 FOR I = 1 TO I1  
3050 FOR J = 1 TO J1  
3060 FOR K = 1 TO K1  
3070 FOR L = 1 TO L1  
3080 FOR M = 1 TO M1  
3090 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, M, L, K)  
3100 NEXT M  
3110 NEXT L  
3120 NEXT K  
3130 NEXT J  
3140 NEXT I  
3150 GOSUB 2000  
3160 A19 = D01 - A05 - A02 - A01 - A13 - A14 - A15 - FC

3170 'COMBINACION No. 77+++FACTOR PCX++++++  
3180 FOR I = 1 TO I1  
3190 FOR J = 1 TO J1  
3200 FOR K = 1 TO K1  
3210 FOR L = 1 TO L1  
3220 FOR M = 1 TO M1  
3230 X(I, J, K, L, M) = XAUX (L, I, M, J, K)  
3240 NEXT M  
3250 NEXT L  
3260 NEXT K  
3270 NEXT J  
3280 NEXT I  
3290 GOSUB 2000  
3300 A20 = D01 - A05 - A02 - A04 - A13 - A10 - A11 - FC

3310 'COMBINACION No. 74+++FACTOR PGG++++++  
3320 FOR I = 1 TO I1  
3330 FOR J = 1 TO J1  
3340 FOR K = 1 TO K1  
3350 FOR L = 1 TO L1  
3360 FOR M = 1 TO M1  
3370 X(I, J, K, L, M) = XAUX (L, I, J, M, K)  
3380 NEXT M  
3390 NEXT L  
3400 NEXT K  
3410 NEXT J  
3420 NEXT I  
3430 GOSUB 2000  
3440 A21 = D01 - A05 - A02 - A03 - A13 - A07 - A08 - FC

( Continúa ... )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa ... )	1995



(... Continuación )

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(5/8)

3450 'COMBINACION No. 17+++FACTOR PXC++++++  
3460 FOR I = 1 TO I1  
3470 FOR J = 1 TO J1  
3480 FOR K = 1 TO K1  
3490 FOR L = 1 TO L1  
3500 FOR M = 1 TO M1  
3510 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, L, M, J, K)  
3520 NEXT M  
3530 NEXT L  
3540 NEXT K  
3550 NEXT J  
3560 NEXT I  
3570 GOSUB 2000  
3580 A22 = D01 - A05 - A04 - A02 - A10 - A13 - A11 - FC

3590 'COMBINACION No. 3+++FACTOR CXF++++++  
3600 FOR I = 1 TO I1  
3610 FOR J = 1 TO J1  
3620 FOR K = 1 TO K1  
3630 FOR L = 1 TO L1  
3640 FOR M = 1 TO M1  
3650 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, L, K, M)  
3670 NEXT M  
3680 NEXT L  
3690 NEXT K  
3700 NEXT J  
3710 NEXT I  
3720 GOSUB 2000  
3730 A23 = D01 - A02 - A04 - A01 - A11 - A15 - A09 - FC

3740 'COMBINACION No. 1+++FACTOR CFG++++++  
3750 FOR I = 1 TO I1  
3760 FOR J = 1 TO J1  
3770 FOR K = 1 TO K1  
3780 FOR L = 1 TO L1  
3790 FOR M = 1 TO M1  
3800 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, K, L, M)  
3810 NEXT M  
3820 NEXT L  
3830 NEXT K  
3840 NEXT J  
3850 NEXT I  
3860 GOSUB 2000  
3870 A24 = D01 - A02 - A01 - A03 - A15 - A08 - A09 - FC

3880 'COMBINACION No. 14+++FACTOR GPF++++++  
3890 FOR I = 1 TO I1  
3900 FOR J = 1 TO J1  
3910 FOR K = 1 TO K1  
3920 FOR L = 1 TO L1  
3930 FOR M = 1 TO M1  
3940 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, L, J, M, K)  
3950 NEXT M  
3960 NEXT L  
3970 NEXT K  
3980 NEXT J  
3990 NEXT I  
4000 GOSUB 2000  
4010 A25 = D01 - A03 - A05 - A01 - A07 - A09 - A14 - FC

4020 'COMBINACION No. 2+++FACTOR GPCF++++++  
4030 FOR I = 1 TO I1  
4040 FOR J = 1 TO J1  
4050 FOR K = 1 TO K1  
4060 FOR L = 1 TO L1  
4070 FOR M = 1 TO M1  
4080 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, K, M, L)  
4090 NEXT M  
4100 NEXT L  
4110 NEXT K  
4120 NEXT J  
4130 NEXT I  
4140 GOSUB 2000  
4150 A26 = E01 - A03 - A05 - A02 - A01 - A07 - A08 - A09 -  
A13 - A14 - A15 - A21 - A25 - A24 - A19 - FC

4160 'COMBINACION No. 5+++FACTOR XPCF++++++  
4170 FOR I = 1 TO I1  
4180 FOR J = 1 TO J1  
4190 FOR K = 1 TO K1  
4200 FOR L = 1 TO L1  
4210 FOR M = 1 TO M1  
4220 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, M, K, L)  
4230 NEXT M  
4240 NEXT L  
4250 NEXT K  
4260 NEXT J  
4270 NEXT I  
4280 GOSUB 2000  
4290 A27 = E01 - A04 - A05 - A02 - A01 - A10 - A11 - A12 -  
A13 - A14 - A15 - A20 - A22 - A23 - A19 - FC

( Continúa ... )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Analisis de varianza ( Continúa ... )	1995

(... Continuación)

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(6/8)

```
4300 'COMBINACION No. 19+++FACTOR GXPF+++++
4310 FOR I = 1 TO 11
4320 FOR J = 1 TO J1
4330 FOR K = 1 TO K1
4340 FOR L = 1 TO L1
4350 FOR M = 1 TO M1
4360 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, M, J, K, L)
4370 NEXT M
4380 NEXT L
4390 NEXT K
4400 NEXT J
4410 NEXT I
4420 GOSUB 2000
4430 A28 = E01 - A03 - A04 - A05 - A01 - A06 - A07 - A09 -
      A10 - A12 - A14 - A16 - A18 - A25 - A22 - FC

4440 'COMBINACION No. 97+++FACTOR GXPC+++++
4450 FOR I = 1 TO 11
4460 FOR J = 1 TO J1
4470 FOR K = 1 TO K1
4480 FOR L = 1 TO L1
4490 FOR M = 1 TO M1
4500 X(I, J, K, L, M) = XAUX (M, I, J, K, L)
4510 NEXT M
4520 NEXT L
4530 NEXT K
4540 NEXT J
4550 NEXT I
4560 GOSUB 2000
4570 A29 = E01 - A03 - A04 - A05 - A02 - A06 - A07 - A08 -
      A10 - A11 - A13 - A16 - A17 - A21 - A20 - FC

4580 'COMBINACION No. 1+++FACTOR CXFG+++++
4590 FOR I = 1 TO 11
4600 FOR J = 1 TO J1
4610 FOR K = 1 TO K1
4620 FOR L = 1 TO L1
4630 FOR M = 1 TO M1
4640 X(I, J, K, L, M) = XAUX (I, J, K, L, M)
4650 NEXT M
4660 NEXT L
4670 NEXT K
4680 NEXT J
4690 NEXT I
4700 GOSUB 2000
4710 A30 = E01 - A02 - A04 - A01 - A03 - A11 - A15 - A08 -
      A12 - A06 - A09 - A23 - A17 - A24 - A18 - FC

4720 A31 = A32 - (A01 + A02 + A03 + A04 + A05 + A06 + A07 +
      A08 + A09 + A10 + A11 + A12 + A13 + A14 + A15 + A16 +
      A17 + A18 + A19 + A20 + A21 + A22 + A23 + A24 + A25 +
      A26 + A27 + A28 + A29 + A30)

4730 CLS
4740 PRINT "A01", A01
4750 PRINT "A02", A02
4760 PRINT "A03", A03
4770 PRINT "A04", A04
4780 PRINT "A05", A05
4790 PRINT "A06", A06
4800 PRINT "A07", A07
4810 PRINT "A08", A08
4820 PRINT "A09", A09
4830 PRINT "A10", A10
4840 PRINT "A11", A11
4850 PRINT "A12", A12
4860 PRINT "A13", A13
4870 PRINT "A14", A14
4880 PRINT "A15", A15
4890 PRINT "A16", A16
4900 INPUT "CONTINUAR "; CONTINUAR
4910 PRINT "A17", A17
4920 PRINT "A18", A18
4930 PRINT "A19", A19
4940 PRINT "A20", A20
4950 PRINT "A21", A21
4960 PRINT "A22", A22
4970 PRINT "A23", A23
4980 PRINT "A24", A24
4990 PRINT "A25", A25
5000 PRINT "A26", A26
5010 PRINT "A27", A27
5020 PRINT "A28", A28
5030 PRINT "A29", A29
5040 PRINT "A30", A30
5050 PRINT "A31", A31
5060 PRINT "A32", A32

5070 END
```

( Continúa...)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa ...)	1995

(.... Continuación)

PROGRAMA No. 1 : En basa al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(7/8)

```
5080 2000 'COMIENZA LA SUBROUTINA
5090 ' SUBROUTINA DE CALCULO
5100 SX = 0
5110 SX2 = 0
5120 FOR I = 1 TO I1
5130 FOR J = 1 TO J1
5140 FOR K = 1 TO K1
5150 FOR L = 1 TO L1
5160 FORM = 1 TO M1
5170 SX = SX + X(I, J, K, L, M)
5180 SX2 = SX2 + X(I, J, K, L, M) ^2
5190 NEXT M
5200 NEXT L
5210 NEXT K
5220 NEXT J
5230 NEXT I
5240 SCT = SX2 - (SX ^ 2 / ((1 * J1 * K1 * L1 * M1))
5250 A32 = SCT
5260 FC = SX ^ 2 / 32
5270 FOR I = 1 TO I1
5280 FOR J = 1 TO J1
5290 FOR K = 1 TO K1
5300 FOR L = 1 TO L1
5310 Y1(I, J, K, L) = 0
5320 NEXT L
5330 NEXT K
5340 NEXT J
5350 NEXT I
5360 FOR I = 1 TO I1
5370 FOR J = 1 TO J1
5380 FOR K = 1 TO K1
5390 FOR L = 1 TO L1
5400 FORM = 1 TO M1
5410 Y1(I, J, K, L) = Y1(I, J, K, L) + X(I, J, K, L, M)
5420 NEXT M
5430 NEXT L
5440 NEXT K
5450 NEXT J
5460 NEXT I
5470 SUMY1 = 0
5480 SUM Y12 = 0
5490 FOR I = 1 TO I1
5500 FOR J = 1 TO J1
5510 FOR K = 1 TO K1
5520 FOR L = 1 TO L1
5530 SUMY1 = SUM Y1 + Y1(I, J, K, L)
5540 SUMY12 = SUM Y12 + Y1(I, J, K, L) ^2
5550 NEXT L
5560 NEXT K
5570 NEXT J
5580 NEXT I
5590 E01 = SUMY12 / 2
5600 FOR I = 1 TO I1
5610 FOR J = 1 TO J1
5620 FOR K = 1 TO K1
5630 Y2(I, J, K) = 0
5640 NEXT K
5650 NEXT J
5660 NEXT I
5670 FOR I = 1 TO I1
5680 FOR J = 1 TO J1
5690 FOR K = 1 TO K1
5700 FOR L = 1 TO L1
5710 Y2(I, J, K) = Y2(I, J, K) + Y1(I, J, K, L)
5720 NEXT L
5730 NEXT K
5740 NEXT J
5750 NEXT I
5760 SUMY2 = 0
5770 SUM Y22 = 0
5780 FOR I = 1 TO I1
5790 FOR J = 1 TO J1
5800 FOR K = 1 TO K1
5810 SUMY2 = SUM Y2 + Y2(I, J, K)
5820 SUMY22 = SUM Y22 + Y2(I, J, K) ^2
5830 NEXT K
5840 NEXT J
5850 NEXT I
5860 D01 = SUMY22 / 4
5870 FOR I = 1 TO I1
5880 FOR J = 1 TO J1
5890 Y3(I, J) = 0
5900 NEXT J
6000 NEXT I
6010 FOR I = 1 TO I1
6020 FOR J = 1 TO J1
6030 FOR K = 1 TO K1
6040 Y3(I, J) = Y3(I, J) + Y2(I, J, K)
6050 NEXT K
6060 NEXT J
6070 NEXT I
```

( Continúa...)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continúa ...)	1995

(... Continuación)

PROGRAMA No. 1 : En base al cálculo usado por Dorenfeld para el análisis de varianza.

(8/8)

```
6080 SUMY3 = 0
6090 SUMY32 = 0
6100 FOR I = 1 TO I1
6110 FOR J = 1 TO J1
6120 SUMY3 = SUM Y3 + Y3(I, J)
6130 SUMY32 = SUM Y32 + Y3(I, J) ^2
6140 NEXT J
6150 NEXT I
6160 C01 = SUM Y32 / 8
6170 FOR I = 1 TO I1
6180 Y4(I) = 0
6190 NEXT I
6200 FOR I = 1 TO I1
6210 FOR J = 1 TO J1
6220 Y4(I) = Y4 (I) + Y3(I, J)
6230 NEXT J
6240 NEXT I
6250 SUMY4 = 0
6260 SUM Y42 = 0
6270 FOR I = 1 TO I1
6280 SUMY4 = SUM Y4 + Y4(I)
6290 SUMY42 = SUM Y42 + Y4(I) ^2
6300 NEXT I
6310 B01 = SUMY42 / 16 - FC
6320 RETURN
```

( FIN DEL PROGRAMA )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
PROGRAMA No. 1 Análisis de varianza ( Continua ...)	1995

# **ANEXO 6**

**CUADRO No. 21**  
**RESULTADOS DE LEY DE SILICE POR EL METODO USADO POR DORENFELD.**

		Grados libertad (n - 1)	Suma de cuadrados (n S <sup>2</sup> )	Varianza n S <sup>2</sup> n-1
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>				
COLECTOR		1	6.5332	6.5332
CONCENTRACION		1	0.0381	0.0381
pH		1	1.3359	1.3359
TIEMPO DE FLOTACION		1	1.0083	1.0083
REPETICION		1	0.0527	0.0527
<b>INTERACCIONES DOBLES</b>				
pH - TIEMPO DE FLOTACION		1	0.0268	0.0268
pH - REPETICION		1	0.0347	0.0347
pH - CONCENTRACION		1	0.0029	0.0029
pH - COLECTOR		1	0.0356	0.0356
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION		1	0.0562	0.0562
TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION		1	0.0493	0.0493
TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	0.2153	0.2153
REPETICION - CONCENTRACION		1	0.1797	0.1797
REPETICION - COLECTOR		1	0.0053	0.0053
CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.2314	0.2314
<b>INTERACCIONES TRIPLES</b>				
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION		1	0.0659	0.0659
pH - TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION		1	0.0351	0.0351
pH - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	0.2807	0.2807
REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.0019	0.0019
REPETICION - CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION		1	0.0395	0.0395
REPETICION - CONCENTRACION - pH		1	0.1504	0.1504
REPETICION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	0.0356	0.0356
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR		1	0.0546	0.0546
CONCENTRACION - COLECTOR - pH		1	0.0639	0.0639
pH - REPETICION - COLECTOR		1	0	0
<b>INTERACCIONES CUADRUPLAS</b>				
pH - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.0015	0.0015
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR		1	0.0522	0.0522
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - COLECTOR		1	0.0302	0.0302
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION		1	0.0215	0.0215
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR - pH		1	0.1074	0.1074
<b>ERROR</b>	0.084472			
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	10.8598			
<b>FACTOR DE CORRECCION</b>	6057.703			
		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA</b> <b>DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA</b>		
		<b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ</b>	<b>TRATAMIENTO DE MINERALES DE</b> <b>FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN</b> <b>(SICARTSA) POR FLOTACION EN</b> <b>CELDA Y COLUMNA</b>	
		CUADRO No. 21	1995	

CUADRO No. 22  
 RESULTADOS DE LEY DE AZUFRE POR EL METODO USADO POR DORENFELD.

	Grados libertad (n - 1)	Suma de cuadrados (n S <sup>2</sup> )	Varianza nS <sup>2</sup> n-1
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>			
COLECTOR	1	0.0536	0.0536
CONCENTRACION	1	0.0935	0.0935
pH	1	0.0504	0.0504
TIEMPO DE FLOTACION	1	0.0914	0.0914
REPETICION	1	0.0007	0.0007
<b>INTERACCIONES DOBLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION	1	0	0
pH - REPETICION	1	0.0006	0.0006
pH - CONCENTRACION	1	0.014	0.014
pH - COLECTOR	1	0.4163	0.4163
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	0.0259	0.0259
TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	0.0011	0.0011
TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0075	0.0075
REPETICION - CONCENTRACION	1	0.0034	0.0034
REPETICION - COLECTOR	1	0	0
CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0282	0.0282
<b>INTERACCIONES TRIPLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	0.0005	0.0005
pH - TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	0	0
pH - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0158	0.0158
REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0095	0.0095
REPETICION - CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION	1	0.0069	0.0069
REPETICION - CONCENTRACION - pH	1	0.0007	0.0007
REPETICION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0007	0.0007
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0002	0.0002
CONCENTRACION - COLECTOR - pH	1	0.0694	0.0694
pH - REPETICION - COLECTOR	1	0.0005	0.0005
<b>INTERACCIONES CUADRUPLAS</b>			
pH - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0088	0.0088
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0004	0.0004
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - COLECTOR	1	0.002	0.002
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION	1	0.0019	0.0019
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR - pH	1	0.0068	0.0068
<b>ERROR</b>		0.000702	
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>		0.8859	
<b>FACTOR DE CORRECCION</b>		161.4155	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
CUADRO No. 22	1995

**CUADRO No. 23**  
**RESULTADOS DE % EN PESO DEL CONCENTRADO POR EL METODO USADO POR DORENFELD.**

	Grados libertad (n - 1)	Suma de cuadrados (n S <sup>2</sup> )	Varianza nS <sup>2</sup> n-1
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>			
COLECTOR	1	536.3594	536.3594
CONCENTRACION	1	106.0625	106.0625
pH	1	568.0469	568.0469
TIEMPO DE FLOTACION	1	204.5781	204.5781
REPETICION	1	0.2344	0.2344
<b>INTERACCIONES DOBLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION	1	4.0625	4.0625
pH - REPETICION	1	0.3906	0.3906
pH - CONCENTRACION	1	4.9531	4.9531
pH - COLECTOR	1	45.5469	45.5469
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	0.1094	0.1094
TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	2.6875	2.6875
TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	15.0625	15.0625
REPETICION - CONCENTRACION	1	0.1094	0.1094
REPETICION - COLECTOR	1	0.0937	0.0937
CONCENTRACION - COLECTOR	1	11.7969	11.7969
<b>INTERACCIONES TRIPLES</b>			
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION	1	-0.0312	-0.0312
pH - TIEMPO DE FLOTACION - CONCENTRACION	1	0.2969	0.2969
pH - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	50.1719	50.1719
REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	-0.0312	-0.0312
REPETICION - CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION	1	0.0625	0.0625
REPETICION - CONCENTRACION - pH	1	0.0625	0.0625
REPETICION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.0781	0.0781
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR	1	0.5459	0.5459
CONCENTRACION - COLECTOR - pH	1	0.3125	0.3125
pH - REPETICION - COLECTOR	1	-0.0625	-0.0625
<b>INTERACCIONES CUADRUPLS</b>			
pH - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.2344	0.2344
TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION - COLECTOR	1	0.0781	0.0781
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - COLECTOR	1	0	0
pH - TIEMPO DE FLOTACION - REPETICION - CONCENTRACION	1	0	0
CONCENTRACION - TIEMPO DE FLOTACION - COLECTOR - pH	1	0.25	0.25
<b>ERROR</b>		0.076125	
<b>SUMA DE CUADRADOS</b>		1552.141	
<b>FACTOR DE CORRECCION</b>		228303.6	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION DE MINAS Y METALURGIA	
TESIS PROFESIONAL	TRATAMIENTO DE MINERALES DE FIERRO DE LA MINA EL VOLCAN (SICARTSA) POR FLOTACION EN CELDA Y COLUMNA
ENRIQUE CONTRERAS GONZALEZ	
CUADRO No. 23	1995