



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

Aplicación de la Microsonda Eléctronica en la determinación de
la sucesión Minerográfica del Yacimiento Mar de Plata,
Distrito Minero Pachuca - Real del Monte

Tesis Profesional

Que para obtener el título de

F I S I C O

Presenta

JESUS RAUL RODRIGUEZ MADRIGAL



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

I.-	INTRODUCCION.	3
II -	OBJETIVO.	4
III.-	FUNDAMENTOS TEORICOS.	5
A .-	Microscopio electrónico de barrido.	6
B .-	Espectrómetro de energía dispersiva.	12
C .-	Espectrómetro de longitud de onda dispersiva.	13
D .-	Análisis cuantitativo (fundamentos).	15
IV	PARTE EXPERIMENTAL Y OBTENCION DE RESULTADOS.	23
E .-	Antecedentes históricos de la minería en el distrito minero Pachuca-Real del Monte.	24
F .-	Características generales del distrito minero Pachuca-Real del Monte.	25
G .-	Desarrollo experimental, obtención e interpretación de resultados.	27
H .-	Apéndice fotográfico.	39
V.-	CONCLUSIONES.	59
VI.-	BIBLIOGRAFIA.	62

I.- INTRODUCCION.

El trabajo se divide en dos partes. La primera parte muestra las bases de microscopia electrónica de barrido y de los espectrómetros -- tanto el de energía dispersiva como el de longitud de onda dispersiva con el objeto de saber qué es y como funciona una microsonda electrónica.

La segunda parte es el objetivo central del trabajo y consiste -- básicamente en la aplicación de microsonda electrónica en la rama de la Geología económica conocida como yacimientos minerales.

El trabajo esta orientado a la obtención de la mineragrafía existente en los especímenes geológicos a ser analizados, pero la motivación -- principal es la identificación, caracterización y cuantificación de los minerales de plata que ahí se encuentren. Debido fundamentalmente a que estos son los de mayor importancia económica en la región. Asimismo se pretende en base a los resultados obtenidos por la microsonda, obtener -- una información más completa que pueda concluir acerca de la naturaleza de un yacimiento mineral.

En este caso se eligió el yacimiento Mar de Plata, perteneciente al distrito minero Pachuca-Real del monte.

II.- OBJETIVO.

El objetivo de este trabajo, es 1).- Mostrar las bases de microscopía electrónica de barrido, y espectrometría de energía y de longitud de onda dispersiva. Con el objeto de saber qué es y como funciona una microsonda electrónica.

2).- Dar a conocer la gran utilidad de la microsonda dentro de la rama de la Geología conocida con el nombre de Yacimientos Minerales, lo cual es lo que ocupa el cuerpo central de este trabajo.

III.- FUNDAMENTOS TEORICOS.

Antes de entrar de lleno en el desarrollo de este trabajo, vale la pena dejar en claro primero, lo que es una Microsonda Electrónica y que en principios se basa.

Ya que una Microsonda Electrónica, básicamente es un microscopio electrónico de barrido, al que se le han colocado como aditamentos 2 espectrómetros de rayos X (uno de longitud de onda dispersiva y el otro de energía dispersiva), dividiremos el tema en 2 partes. La primera tratará acerca de lo que es un microscopio electrónico de barrido y en que principios se basa, y la segunda se centrará en los espectrómetros de rayos X y sus principios básicos.

A) Microscopio electrónico de barrido MEB.

Debido a las necesidades cada vez mayores de precisión, así como de obtención de un mayor poder de resolución en el campo de la microscopía óptica, se desarrolló la óptica de electrones como respuesta a estos requerimientos. Esta se basa en 3 descubrimientos muy importantes en el campo de la física.

Estos son: λ). La prueba de la existencia de los electrones por J.J. Thomson en 1887. ⁽¹⁾ $\lambda\lambda$). La hipótesis de la naturaleza ondulatoria de las partículas materiales, de Luis de Broglie ⁽¹⁾ en 1923.

$\lambda\lambda\lambda$). La acción de lente de campos eléctrico y magnético con simetría axial sobre partículas cargadas, atribuida a diversos autores entre los que destaca Bush ⁽¹⁾ en 1926.

Es a partir de los 3 descubrimientos enunciados anteriormente que en 1935, M. Knoll construye en Alemania el 1er microscopio electrónico de barrido (MEB), que comienza a desarrollarse rápidamente, para que en 1963, Inglaterra produzca el 1er (MEB) comercial. Este es el punto de partida para que diversifique, tanto su diseño como su utilización en el campo de la Investigación Científica, logrando resoluciones muy altas, hasta 50A y aún mayores e incursionando en campos tan variados como: Biología, Metalurgia, Geología, Electrónica, Ciencia de Materiales etc. En los cuales ha sido herramienta de gran valor en la resolución de problemas particulares de cada área.

-Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento para estos microscopios es la formación de contraste (o sea diferentes tonos de gris) , producido por la interacción de un fino haz electrónico durante un barrido o rastréo en la muestra.

La imagen se forma gracias a una técnica similar a la utilizada en televisión, solo que las velocidades de barrido son mucho menores que en la televisión comercial. Esto es debido al pequeño número de electrones provenientes de la interacción con la muestra que deberán ser integrados para la obtención de la información.

En base a la formación de contraste, debido a la interacción -- del haz electrónico con la muestra, es que la interpretación de la - imagen depende del poder diferenciador de los distintos tonos de gris.

- Características fundamentales de un (MEB).

Las características fundamentales son:

- 1).- La correspondencia biunívoca punto a punto entre la muestra y la imagen para un tiempo dado.
- 2).- La apariencia tridimensional que se observa en la imagen.
- 3).- La posibilidad de variar continuamente la amplificación desde - aprox. 20X hasta incluso 200,000X.
- 4).- Un poder resolutivo hasta 50^oÅ, con una profundidad de campo muy superior (300 veces) en comparación con microscopios ópticos.

-Partes principales de un (MEB).

El microscopio electrónico de barrido consta de:

a).- La columna al vacío con un cañón de electrones (cátodo emisor, rejilla reguladora y ánodo acelerador), lentes electromagnéticas colimadoras del haz con sus aperturas intermedias correspondientes, las bobinas deflectoras para el barrido y para la corrección del astigmatismo y por último la apertura final. Lámina No. (1).

b).- La cámara de muestras con sus sistemas de movimiento, además detector de señal con sus respectivos preamplificadores.

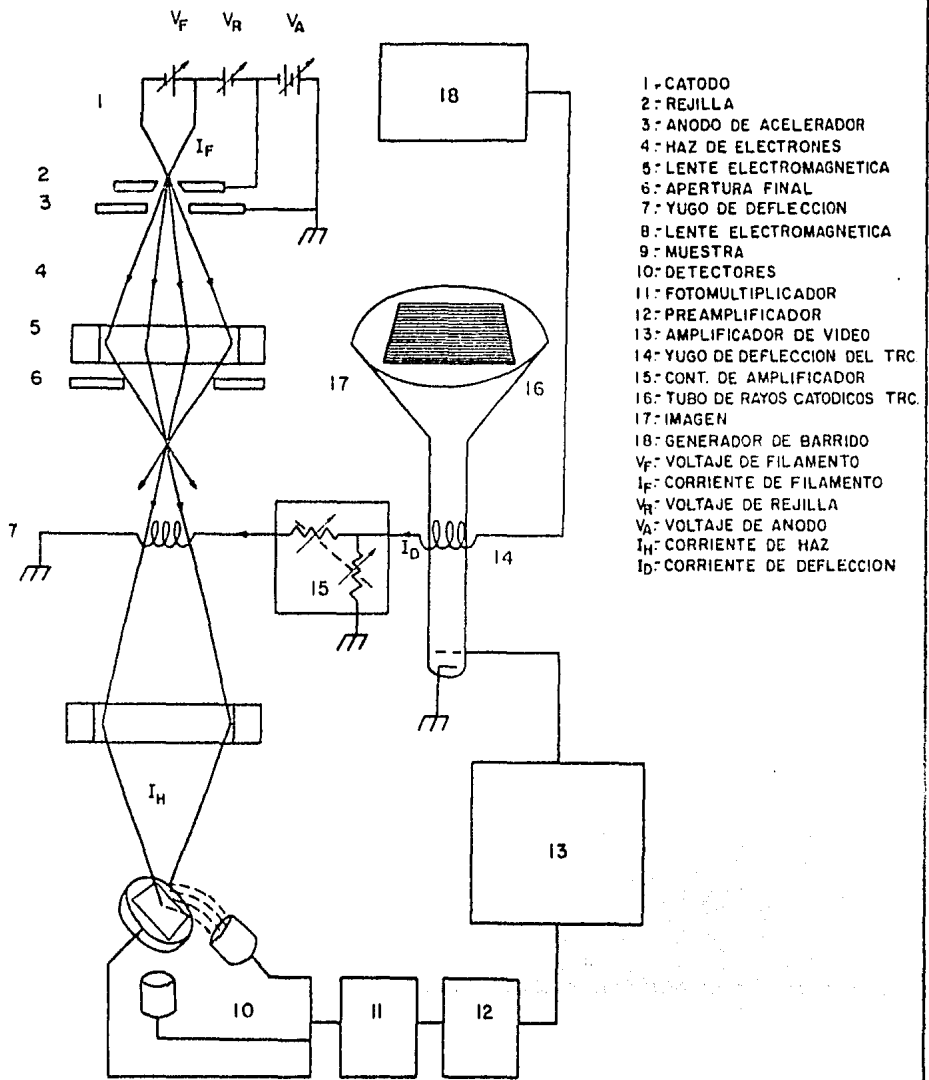
c).- El amplificador lineal de video acoplado a un tubo de rayos catódicos TRC donde se observa la imagen.

-Funcionamiento (OPERACION)

El haz de electrones emitido por el filamento de tungsteno es -- procesado optoelectrónicamente para obtener la menor sección posible antes de que interactúe con la muestra, con una energía E_0 , ya que de esto depende la resolución del microscopio (actualmente se trabaja con potenciales de aceleración E_0 entre 1.5 y 39 Kev.

De dicha interacción se produce reflexión, absorción y transmisión de electrones, así como emisión de rayos X característicos de -- los elementos componentes y fotoemisión. Lámina No. (2).

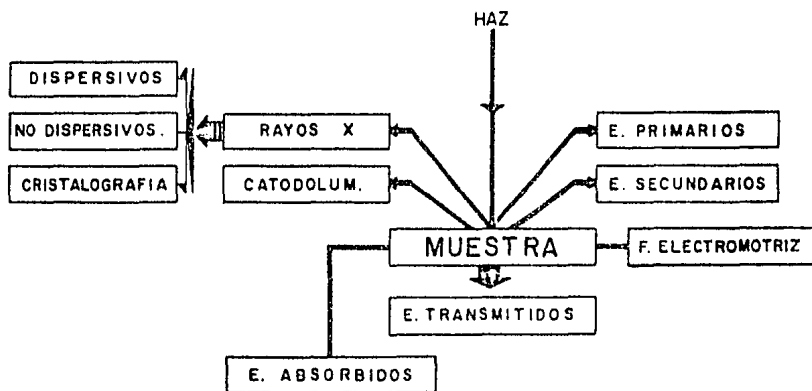
A los electrones reflejados, cuya energía sea del orden de E_0 se les conoce como electrones primarios o retrodispersados.



- 1- CATODO
- 2- REJILLA
- 3- ANODO DE ACCELERADOR
- 4- HAZ DE ELECTRONES
- 5- LENTE ELECTROMAGNETICA
- 6- APERTURA FINAL
- 7- YUGO DE DEFLECCION
- 8- LENTE ELECTROMAGNETICA
- 9- MUESTRA
- 10- DETECTORES
- 11- FOTOMULTIPLICADOR
- 12- PREAMPLIFICADOR
- 13- AMPLIFICADOR DE VIDEO
- 14- YUGO DE DEFLECCION DEL TRC
- 15- CONT. DE AMPLIFICADOR
- 16- TUBO DE RAYOS CATODICOS TRC
- 17- IMAGEN
- 18- GENERADOR DE BARRIDO
- V_F - VOLTAJE DE FILAMENTO
- V_R - VOLTAJE DE REJILLA
- V_A - VOLTAJE DE ANODO
- I_F - CORRIENTE DE FILAMENTO
- I_H - CORRIENTE DE HAZ
- I_D - CORRIENTE DE DEFLECCION

U.N.A.M.	FACULTAD DE CIENCIAS.
DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO	
TESIS PROFESIONAL	
J. RAUL RODRIGUEZ M.	1985 LAMINA No /

DIAGRAMA QUE MUESTRA LOS DISTINTOS MODOS DE OPERACION DE UN MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO.



U.N.A.M. FACULTAD DE CIENCIAS.

DIAGRAMA DE OPERACION DEL MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO

TESIS PROFESIONAL

J RAUL RODRIGUEZ M 1985 LAMNA No 2

En el caso de que los electrones incidentes pierdan energía para producir emisión secundaria, la energía de los electrones reflejados es menor que 50ev. y se les conoce como electrones secundarios. Parte de estos electrones son colectados por un detector o centellador colocado a un lado de la muestra. Para el caso de muestras muy delgadas se forman los electrones transmitidos, los cuales son detectados generalmente por un centellador colocado bajo la muestra. Por último, los electrones que interaccionan con la muestra y no tienen energía para salir de ella, son conocidos como electrones absorbidos, y su detección es por medio de un convertidor de corriente a voltaje entre la muestra y tierra.

La microsonda electrónica que no es otra cosa sino un microscopio electrónico de barrido al que se le han incorporado 2 espectrómetros uno de longitud de onda dispersiva y otro de energía dispersiva. En ella se utilizan: 1).- La imagen composicional, producida por los electrones primarios ó retrodispersados, 2).- La imagen topográfica, generada por los electrones secundarios para indagar acerca de la Microestructura y Morfología del material a ser analizado y 3).- En el caso de análisis cualitativos y semicuantitativos en los que se investiga la naturaleza o composición del espécimen en estudio se utilizan los espectrómetros de rayos X, tanto el de energía, como el de longitud de onda dispersiva.

-Espectrometros de rayos X.

Los análisis químicos efectuados con microsonda electrónica, requieren la separación de la líneas características de rayos X de los diferentes elementos que constituyen la muestra a ser analizada, así

como la medida de sus intensidades. Existen 2 maneras de separar las líneas: 1).- La dispersión de longitudes de onda con cristales analizadores (espectrómetro de longitud de onda) y 2).- La dispersión de energía usando la respuesta proporcional de detectores electrónicos (espectrómetro de energía dispersiva) .

B).- Espectrómetro de energía dispersiva (EDS).

La dispersión de energía es el proceso utilizado para distinguir los rayos X característicos de los elementos químicos que componen el espécimen a ser analizado.

Se basa fundamentalmente en la proporcionalidad entre la energía de los fotones (rayos X), que inciden sobre el detector y la amplitud de los pulsos eléctricos que son generados (Volts), y depende para ser usado, con éxito de la resolución del detector que en este caso es de estado sólido (Si-Li) cuya resolución es ≈ 200 ev.

En el caso de análisis por energía dispersiva, el detector ve al espécimen directamente y mide la totalidad de rayos X característicos generados, simultáneamente se efectúa una separación eléctrica de las líneas características de los elementos químicos presentes.

Esto es de gran valor en análisis por microsonda electrónica debido a que uno puede moverse rápidamente de un lugar a otro en una muestra desconocida, sin preocuparnos por un barrido del espectrómetro para ver que elementos se encuentran presentes. (como ocurre en el caso del espectrómetro de longitud de onda).

El espectro completo es almacenado en un analizador multicanal, es decir se puede tener acceso al espectro de emisión de los elementos químicos que componen al espécimen, sin importar si estos elementos son 5, 6 o más, a diferencia de un espectrómetro longitud de onda que consta solo de un analizador de canal sencillo y solo se puede tener acceso a -

información de un elemento a la vez.

El espectrograma que en el espectrómetro de energía dispersiva, es un gráfico de intensidad (I) en cps contra Energía (Kev) es mostrado al operador en una pantalla, y en base a la espectroscopia de emisión que dice que cada elemento químico presenta máximos de intensidad a diferente energía podemos determinar cualitativamente cual es la naturaleza del material analizado. Lámina No. (3).

C).- Espectrómetro de longitud de onda dispersiva (WDS).

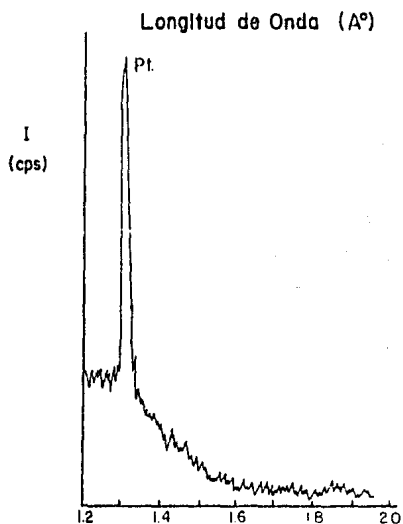
Este equipo tiene la finalidad de efectuar mediciones de rayos X característicos producidos, en términos de su longitud de onda λ (Å).

El fenómeno que se genera es el siguiente; El haz de electrones incidente proveniente del microscopio electrónico de barrido hace las veces de agente excitador de electrones que se encuentren en orbitas internas, en los átomos pertenecientes al espécimen a ser analizado, los cuales al desexcitarse emiten radiación de longitud de onda muy corta λ (Å) pero de energía muy grande del orden de Kev. Es decir rayos X característicos del, ó de los elementos químicos presentes en la muestra.

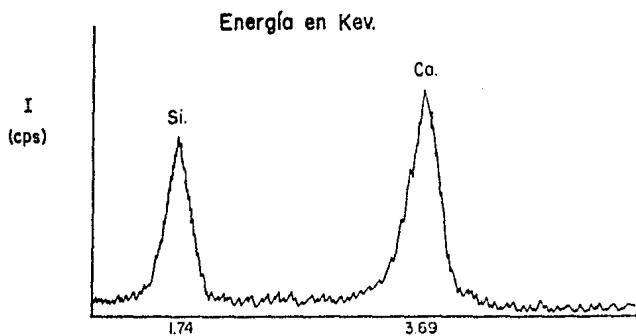
Esta radiación característica es dirigida a un cristal analizador -- y ahí, mediante el fenómeno de difracción, son separadas las diferentes longitudes de onda de la radiación incidente. Obteniendose a la salida del cristal analizador, una señal correspondiente al elemento para el cuál ocurrió reflexión de Bragg a una posición determinada.

De modo que se obtendrá una señal para cada elemento, y únicamente para este en el caso que exista, variando la posición del cristal analizador. Este hecho nos permite identificar por separado a cada uno de los elementos químicos componentes del espécimen a ser analizado.

Ahora bien, la radiación difractada por el cristal analizador se focaliza sobre un detector, que es un contador proporcional de flujo de gas --



ESPECTROGRAMA.- Tal y como es presentado por un graficador adaptado a un espectrómetro de longitud de onda.



ESPECTROGRAMA.- Tal y como es presentado por la pantalla adaptada al espectrómetro de energía dispersiva.

U.N.A.M.	FACULTAD DE CIENCIAS.	
ESPECTROGRAMAS DE LONGITUD DE ONDA Y ENERGIA DISPERSIVA		
TESIS PROFESIONAL		
J RAUL RODRIGUEZ M	1985	LAMINA No. 3

90% Ar-10% CH₄. Obteniéndose por cada fotón incidente un pulso eléctrico proporcional a la energía del fotón.

Este pulso eléctrico es amplificado, medido y contado, y la señal - da salida (intensidad de pico del elemento buscado), es mostrada al operador de 2 formas: Digital y analógica en cuentas por segundo (cps), en donde Intensidad (I) \propto (cps) cuentas por segundo.

El análisis cualitativo, se obtiene por medio de un graficador en - el que muestra un espectrograma que no es otra cosa sino un gráfico de I en cps (cuentas por segundo) contra λ longitud de onda (Å), y en donde de acuerdo con la espectroscopía de emisión cada elemento químico presenta - máximos de intensidad (I) a diferente longitud de onda (λ).

Es debido a este hecho que nosotros podemos identificar los distintos elementos químicos de que esta compuesto el espécimen. Lámina No. (3).

D).- Análisis Cuantitativo.

Podrán efectuarse análisis cuantitativos, tanto con el espectrómetro de energía dispersiva como con el de longitud de onda dispersiva siempre que se disponga de: 1).- Patrones de cada uno de los elementos que se desee - determinar . 2).- Adición de un computador que registrará los valores obtenidos de las intensidades de las muestras problema y las comparará con los valores de sus respectivos patrones. Así la primera aproximación al análisis - cuantitativo vendrá dada por la siguiente relación:

$$C \propto K$$

Donde C= concentración en % en peso del ó de los elementos presentes.

K= intensidad relativa en cuentas por segundo, del ó de los elementos presentes.

pero además.

$$K = \frac{I \text{ muestra} - I \text{ ruido de fondo}}{I \text{ patrón} - I \text{ ruido de fondo}}$$

I= intensidad en cuentas por segundo.

Esto es la concentración C, es proporcional a la intensidad relativa K, registrada en cuentas por segundo del elemento que se desea cuantificar.

3).- Con el fin de lograr un análisis más preciso se debe disponer además del computador, de un programa de correcciones al valor de la intensidad registrada para poder obtener una igualdad en la relación $C \propto K$, -- dicho programa contiene correcciones al valor de la intensidad medida pues esta se ve incrementada o disminuida por fenómenos secundarios como son -- Absorción, Ionización, Retrodispersión y Fluorescencia secundaria.

Las correcciones por Ionización y Retrodispersión se engloban en lo que se conoce como corrección por número atómico.

Estas correcciones tienen que aplicarse a la hora de realizar un análisis cuantitativo para asegurar que la concentración obtenida tenga el -- mínimo margen de error, y por tanto una gran confiabilidad.

En base a lo anterior se ha obtenido la siguiente relación:

$$C_i = K_i (FAZ)$$

C_i = concentración, % en peso del elemento i.

K_i = intensidad relativa del elemento i en cuentas por segundo.

El factor FAZ es el relacionado con las correcciones por efectos secundarios en donde F= corrección por fluorescencia secundaria, A= corrección por absorción y Z= corrección por número atómico.

Considerando todo lo anterior, $C_i = K_i (FAZ)$, tiene el peso de un -- verdadero análisis cuantitativo.

Ahora bien como ejemplo, para el caso de una aleación binaria la expresión matemática con las correcciones por efectos secundarios y con ella el -- cálculo de la concentración del elemento A en una aleación que tiene elementos A y B será:

(2) (3)

1).- Corrección por absorción, la cuál se debe a Philibert y Heinrich, viene dada como:

$$f(x) = \frac{1+h}{(1+x/\sigma_c) \cdot 1+h(1+x/\sigma_c)}$$

donde f(x) es la fracción de radiación que emerge de la superficie.

$$\sigma_c = \frac{4.5 \times 10^5}{E_0^{1.67} - E_c^{1.67}}$$

x = $(\mu/\rho) \csc \theta$; E₀ = voltaje de aceleración (Kev).

h = 1.2 A/Z² ; E_c = potencial critico de excitación (Kev).

(μ/ρ) = coeficiente de absorción de mas (cm²/gr)

θ = ángulo de emergencia de rayos X.

A = peso atómico.

Z = número atómico.

(4)

2).- Corrección por número atómico se debe a Philibert y Tixier, ⁽⁵⁾ aun que después fué modificada por Heirich y Yakowitz, viene dada como:

$$K_A = C_A \frac{R_{AB}}{R_A} \cdot \frac{\int_{E_c}^{E_0} Q/S_{AB} \cdot dE}{\int_{E_c}^{E_0} Q/S_A \cdot dE} \quad \dots 2$$

donde C_A = porcentaje en peso del elemento A.

R = factor de pérdida por retrodispersión.

Q = sección transversal de ionización de rayos X.

S = potencia de frenado de electrones.

K_A = intensidad relativa medida para el elemento A.

(4)

Philibert y Tixier lograron expresar la ecuación 2 en la siguiente forma matemática:

$$C_A = K_A \frac{R_A (Z/A)_{AB} \left[(U_0 - 1) - \frac{1}{W_A} \ln W_A (L_i U_0 W_A - L_i W_A) \right]}{R_{AB} (Z/A)_A \left[(U_0 - 1) - \frac{1}{W_{AB}} \ln W_{AB} (L_i U_0 W_{AB} - L_i W_{AB}) \right]}$$

donde $U_0 = E_0/E_c$

$\ln x =$ logaritmo natural de x .

$$\ln W = \frac{1}{M} \sum C_A (Z_{A/A}) \ln W_A^i$$

$$M = \sum C_i (Z_{i/A_i})$$

$li x =$ logaritmo integral de x .

$$= c + \ln |\ln x| + \sum_{s=1}^{\infty} \frac{(-1)^s (\ln x)^s}{s \cdot s!}$$

y $C =$ constante de Euler = 0.5772156649

$$W_A^i = 1166 E_C^i / J_A$$

$E_C^i =$ potencial de excitación crítico.

$J_A =$ potencial de ionización promedio del elemento A, en eV.

Para el caso de patrón de un elemento puro, la expresión para W es:

$$W_A = 1166 E_C^A / J_A$$

Ahora bien en el caso de un compuesto binario el logaritmo de W en el compuesto será:

Para el elemento A.

$$\ln W_{AB} = \frac{1}{M} \left[\frac{CAZA}{AA} \ln \frac{1166 E_C^A}{JA} + \frac{CBZB}{AB} \ln \frac{1166 E_C^A}{JB} \right]$$

y para el elemento B,

$$\ln W_{AB} = \frac{1}{M} \left[\frac{CAZA}{AA} \ln \frac{1166 E_C^B}{JA} + \frac{CBZB}{AB} \ln \frac{1166 E_C^B}{JB} \right] \quad (6)$$

Donde el potencial promedio de ionización según Berger and Seltzer - tiene la siguiente forma $J = Z (9.76 + 58.82^{-1.19})$.

3.- Corrección por fluorescencia secundaria, la cuál se debe a Reed, viene dada como: (7)

$$\frac{I_f}{I_d} = .5 P_{ij} C_B \left[r_A - \frac{1}{r_A} \cdot W_B \right] \frac{A/B}{B} \left(\frac{U_B - 1}{U_A - 1} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_B^A / \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_B$$

$$\left[\frac{\ln(14Y)}{y} + \frac{\ln(14V)}{v} \right]$$

I_f = Intensidad de la fluorescencia secundaria producida por la intensidad primaria.

I_d = Intensidad primaria de rayos X. (8)

r = Coeficientes de absorción de Heinrich.

P_{ij} = Es una constante teniendo el valor de 1 para radiación K, excitando fluorescencia K, o radiación L excitando fluorescencia L, y el valor 1/4 para radiación L excitando fluorescencia K.

$$U = E_0/E_C$$

A = peso atómico del elemento A.

B = peso atómico del elemento B.

w_B = Fluorescencia producida para el elemento B.

C_B = Porcentaje en peso del elemento B.

$$y = \mu M_i \text{csc} \theta / \mu M_j$$

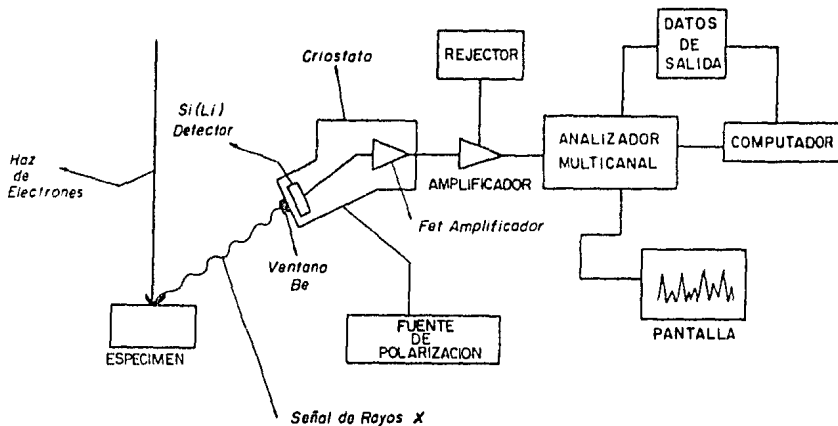
$$v = \sigma_0 / \mu M_j$$

Así finalmente la concentración del elemento A en una aleación binaria viene dada como:

$$C_A = K_A \left\{ \frac{R_A (Z/A)_{AB} \left[(U_0 - 1) - \frac{\ln W_A}{W_A} (L_i U_0 W_A - L_e W_A) \right]}{R_{AB} (Z/A)_A \left[(U_0 - 1) - \frac{\ln W_{AB}}{W_{AB}} (L_i U_0 W_{AB} - L_e W_{AB}) \right]} \right\} \times \left\{ \frac{F(x)_A}{F(x)_{AB}} \right\} \times \left\{ \frac{1}{1 + \frac{I_F}{I_d}} \right\}$$

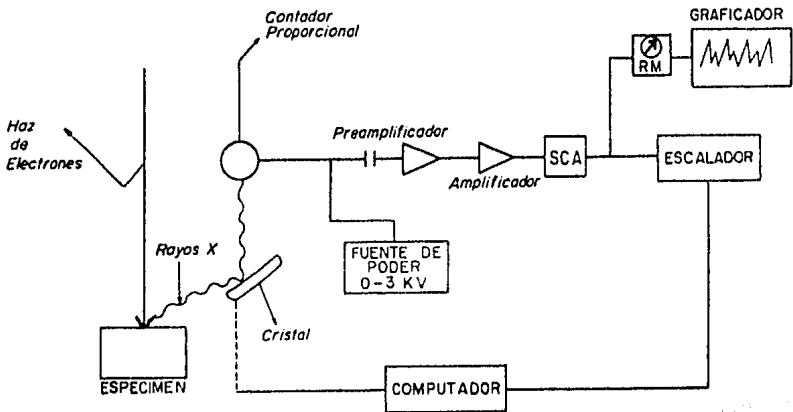
Todos estos cálculos se llevan a cabo en un computador, en el momento de realizar un análisis cuantitativo.

DIAGRAMA DE BLOQUES MOSTRANDO LAS PARTES PRINCIPALES DE UN ESPECTROMETRO DE ENERGIA DISPERSIVA.



U.N.A.M.	FACULTAD DE CIENCIAS.
DIAGRAMA DE UN ESPECTROMETRO DE ENERGIA DISPERSIVA.	
TESIS PROFESIONAL	
J RAUL RODRIGUEZ M	1985 LAMINA No. 4

DIAGRAMA DE BLOQUES MOSTRANDO LAS PARTES PRINCIPALES DE UN ESPECTROMETRO DE LONGITUD DE ONDA.



U.N.A.M.	FACULTAD DE CIENCIAS.
DIAGRAMA DE UN ESPECTROMETRO DE LONGITUD DE ONDA	
TESIS PROFESIONAL	
J RAUL RODRIGUEZ M	1985 LAMINA No. 5

IV.- PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS.

De acuerdo al objetivo de este trabajo, vamos ahora a mostrar la aplicación de la microsonda electrónica en la determinación de la sucesión minerográfica, primero del distrito minero Pachuca-Real del Monte con altos valores en plata y después, ya que tiene las mismas condiciones geológico-estructurales, las del yacimiento Mar de Plata perteneciente al mismo Distrito.

La razón por la cual nos interesamos en este último yacimiento, es que el yacimiento Mar de Plata ya había sido establecido como continuación del cuerpo mineralizante que está siendo explotado con buena ley de plata en el distrito minero Pachuca-Real del Monte. Sin embargo, cuando se barreno y se colectaron muestras para ser analizadas, estas arrojaron resultados completamente negativos. Lo lamentable es que en las obras de barrenación se invirtieron más de 60 millones de pesos inútilmente. Así pues se decidió hacer un trabajo de investigación mucho más serio incluyendo técnicas de investigación más complejas, pero que a la vez nos proporcionaran un conocimiento más profundo de este yacimiento.

Una de estas técnicas involucra la utilización de una microsonda electrónica la cual aunque complementaria, arroja bastante luz acerca del comportamiento de un yacimiento mineral.

Los resultados que de esta se obtienen son básicamente los siguientes: 1).- La minerografía completa de todas las asociaciones minerales que se encuentran presentes, 2).- La distribución de los elementos importantes en cada uno de estos minerales, 3).- La variación en cuanto a concentración de los mismos, y finalmente, 4).- La cuantificación de los minerales más importantes (que en el caso del Distrito Minero Pachuca-Real del Monte, son los minerales de plata).

E).- Antecedentes históricos de la Minería en el
Distrito Minero de Pachuca - Real del Monte.

No se sabe con exactitud cuando se inició la explotación del distrito minero de Pachuca-Real del Monte pero se cree fué a mediados del siglo XV. Poco antes de la conquista los indígenas obtenían los metales mediante el sistema de calcinación, que consistía en calentar la veta con leña ardiendo para después dejarla enfriar bruscamente con agua para resquebrajarla. Posteriormente realizaban una pepena para seleccionar los compuestos metálicos, en particular los preciosos, que utilizaban para la elaboración de sus objetos.

Posteriormente, en 1552 en plena etapa de colonización, se inicia la explotación y exploración de Pachuca y Real del Monte por españoles. Durante casi 3 siglos, la minería estuvo en manos de los españoles que remitían a España una buena parte de las utilidades que se obtenían.

Conforme pasaban los años, la importancia de la minería en este distrito era cada vez mayor, teniendo un gran desarrollo a mediados del siglo pasado como consecuencia de la llegada a México de compañías Inglesas y posteriormente algunas Americanas. Lo anterior trajo como consecuencia el empleo de mejores métodos para la extracción del mineral y algunas minas abandonadas (por no poder desaguarlas) fueron puestas en operación gracias al empleo de nuevos y mejores métodos de extracción de mineral.

A principios del siglo XX el beneficio del mineral por el método de patio, inventado por Fray Bartolomé de Medina tres siglos antes, fué reemplazado por el de cianuración (inventado por el Ingeniero Williams en Southland E.U.A.), y el cual sigue en uso.

Años más tarde, como las Industrias Mineras existentes tuvieron déficits en su operación, en 1956 el gobierno de la República inició la adquisición

-sición de algunos lotes mineros y obtuvo poco después el control de los trabajos: con lo que se formó la compañía Real del Monte y Pachuca, la cuál sigue en operación hasta nuestros días.

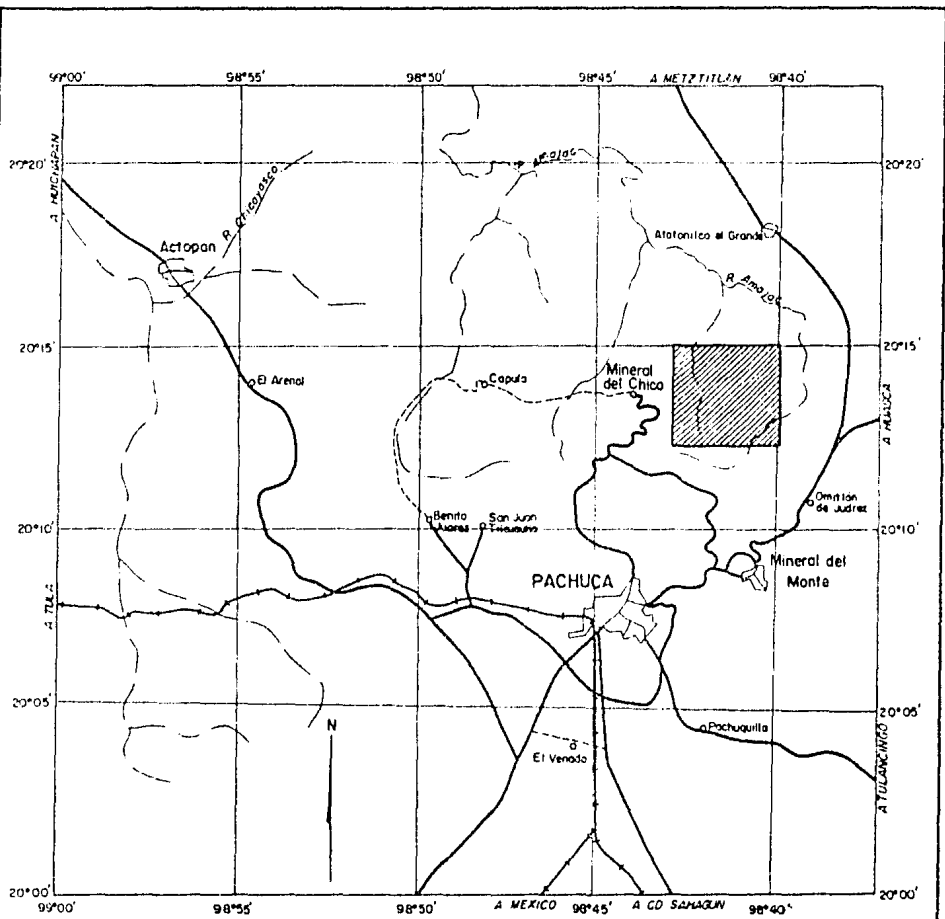
F).- Características generales del Distrito
Minero Pachuca-Real del Monte.

El distrito minero Pachuca-Real del Monte, ha producido en términos generales desde su descubrimiento en el siglo XVI: 1.5×10^9 onzas de plata, 6×10^6 onzas de oro y cerca de 1×10^8 toneladas de mineral de Plomo, Zinc y Cobre.







La producción tiene su origen en depósitos de vetas que han llegado a tener hasta 8 Km de longitud, 650 m. en extensión vertical y hasta 45 m. en anchura. Sin embargo en general, las vetas tienen un promedio de 200-400 m. en longitud y extensión vertical, y 2-4 m. de anchura.

Los depósitos minerales ocurren completamente en un área de 12 Km. E-W por 10 Km. N-S y entre las elevaciones de 2,000 y 2,800 mts. sobre el nivel del mar. Dichos depósitos se presentan como rellenos de cavidades en las vetas y terminan donde las mismas se estrechan. El distrito cae completamente dentro de una secuencia de rocas volcánicas que datan del terciario tardío. Dichas rocas son principalmente andecitas y dacitas (rocas ígneas extrusivas).

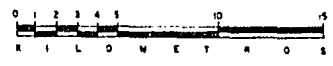
Estructuralmente el área esta caracterizada por muy ligeras deformaciones y fallas normales en las rocas volcánicas. La zona correspondiente al yacimiento Mar de plata es aproximadamente 12 Km^2 , localizada al noroeste de la ciudad de Pachuca, y pertenece al Distrito Minero Pachuca-Real del Monte.



SIMBOLOGIA:

- CIUDAD 
- POBLACION Ó RANCHERIA 
- AREA DE INTERES 
- CARRETERA 
- BRECHA 
- FF.C.C. 

ESCALA 1:250 000



U.N.A.M.	FACULTAD DE CIENCIAS.
PLANO DE LOCALIZACION	
TESIS PROFESIONAL	
J RAUL RODRIGUEZ M	1985 LAMINA No 6

G).- Desarrollo experimental obtención e interpretación de resultados.

La elaboración del trabajo, contempla la siguiente metodología:

- i) Muestreo, el cual se efectuó directamente en el Distrito Minero -
- ii) Preparación de muestras a ser analizadas en la microsonda electrónica.
- iii) Análisis de las muestras y obtención e interpretación de resultados.
- iv) Muestreo.

Con el fin de poder tener resultados altamente convincentes acerca del comportamiento del yacimiento Mar de Plata, se decidió realizar primero el muestreo en el área del distrito que ya está siendo explotada - con buena ley en plata. Esto, con el objeto de contar con una buena referencia para el estudio del área de interés.

El razonamiento anterior está apoyado en el hecho de que el Distrito Minero en su conjunto tiene las mismas características geológico-estructurales. De esta manera se espera una ocurrencia similar de mineralización. En este trabajo se intenta establecer la mineragrafía completa del área en estudio, pero esta orientado fundamentalmente a la identificación caracterización y cuantificación de los minerales de plata, por ser estos los de mayor importancia económica.

El muestreo en la zona con altos valores en plata se efectuó en la veta, es decir en el lugar en donde existe la estructura mineralizante. Dicho muestreo fué aleatorio y se escogieron los ejemplares más representativos; es decir, aquellos ejemplares de mano que, aparte de cuarzo que es la matriz, tuvieran algún otro mineral como pirita, esfalerita ó galena.

En el área de Mar de Plata se muestreó también a lo largo de la veta.

Sin embargo, en este caso se tienen algunos problemas, pues la veta se pierde principalmente debido a que el lugar presenta numerosas fallas geológicas. El muestreo realizado fué también aleatorio y se escogieron asimismo los ejemplares más representativos. Solo que en este caso la única mineralización que se observaba, en un ejemplar de mano, era cuarzo-pirita.

ii) Preparación de muestras a ser analizadas por microsonda electrónica.

Para la preparación de muestras se siguió el método que a continuación se describe: se cortaron tubos huecos de PVC de 1 cm de altura y 22 mm de diámetro, que sirvieron como moldes de lo que se denominan briquetas, las cuales no son otra cosa sino pastillas constituidas fundamentalmente por resina transparente HU-543, monómero de metil-metacrilato, catalizador y acelerador.

Las muestras, que son superficies de mineral de ~ 0.4 cm de espesor, se montan en resina porque así pueden ser más fácilmente manipulables para el proceso de pulido. Este tiene como objetivo principal el de obtener una superficie pulida plana que no presente dificultad para ser analizada al microscopio.

Una vez que se tiene una superficie plana y pulida, se procede a aplicar a la muestra una cubierta de carbón con la finalidad de que toda la superficie del espécimen en estudio sea perfectamente conductora.

Esta película evita que se produzcan interferencias en la obtención de imágenes, (producidas por un exceso de electrones en puntos de la muestra que no sean perfectamente conductores), durante las observaciones en la microsonda.

iii) Análisis de las muestras e interpretación de resultados.

MINERAGRAFIA.

El análisis fue realizado en 15 muestras. De las cuales 5 corresponden a la zona con altos valores de plata. Las 10 muestras restantes, corresponden al área de Mar de Plata que es nuestra zona de interés. Todos los minerales que son descritos a continuación, fueron completamente identificados y caracterizados utilizando microsonda electrónica, en sus diversos modos de operación i.e., electrones secundarios, imagen o - mapeo de rayos X, perfil de línea de rayos X característicos y espectro de emisión completo de elementos químicos que componen el espécimen Geológico a ser analizado, los cuales son usados para obtener con una excelente confiabilidad, todas las especies minerales que se encuentran presentes.

Los resultados obtenidos del análisis de las muestras son los siguientes: 1).- Zona con altos valores en plata: De las 5 muestras colectadas, - la única diferencia entre ellas fué en el tipo de minerales de plata existentes. En 3 de las muestras aparecen minerales como argentita (sulfuro de plata) y argentita cuprífera (sulfuro de plata con cobre como impureza). En cambio en las otras 2 se identificó, además, de argentita y argentita -- cuprífera, estromeyerita (sulfuro de plata y cobre). Por lo demás, la minerografía en las 5 muestras es la misma y esta es:

-Descripción de los principales minerales identificados.

1).- Area del Distrito Minero con altos valores de plata:

CUARZO (óxido de silicio). Referencia foto # 7.

Este es el mineral más abundante en las muestras colectadas. Se presenta en forma de cristales anedrales aunque también los hay subedrales. Constituye la matriz entre la cual descansan los demás minerales. Económicamente no es valioso (GANGA)

PIRITA (sulfuro de fierro). Referencia foto # 6.

Es el segundo mineral en abundancia en las muestras. Se presenta en

forma de cristales subedrales aunque tambien los hay anedrales. - Otro detalle importante es que se le encuentra asociado, aunque en parte muy pequeña, a la argentita (sulfuro de plata). Tiene poco valor económico (MENA).

ESFALERITA (sulfuro de Zinc). Referencia foto # 4.

Ocupa el tercer lugar en abundancia en las muestras colectadas. Se presenta en forma de cristales anedrales y subedrales. Es frecuente su asociación con la galena (sulfuro de plomo), aunque también se encuentra asociado con la argentita que es un sulfuro de plata. Tiene valor económico (MENA).

CALCOPIRITA (sulfuro de cobre y fierro). Referencia foto # 6.

Es el cuarto mineral en abundancia en las muestras. Se presenta en forma de cristales anedrales y subedrales. Es el mineral que se encuentra más fuertemente asociado a la argentita (sulfuro de plata). Tiene valor económico (MENA).

ARGENTITA (sulfuro de plata). Referencia foto # 1.

Ocupa el quinto lugar en abundancia en las muestras colectadas. Se presenta en forma de cristales anedrales y subedrales. Es el mineral con mayor valor económico en la zona (de este se extrae la plata).

Una ligera variación del mismo es la argentita cuprífera, que admite una pequeña concentración de cobre como impureza.

GALENA (sulfuro de plomo). Referencia foto # 3.

Ocupa el sexto lugar en abundancia relativa en las muestras. Se presenta en forma de cristales subedrales aunque también los hay anedrales. Tiene valor económico (MENA).

ESTROMEYERITA (sulfuro de plata y cobre). Referencia fotos #s. 18 y 19.

Es el séptimo en cuanto a abundancia en las muestras colectadas. Se presenta en forma de cristales anedrales y fué identificada en la -

matriz de cuarzo. Tiene valor económico (MENA).

RODOCROSI^{TA} (carbonato de manganeso). Referencia Foto # 15.
Este mineral es bastante escaso en las muestras colectadas. -
Se presenta en cristales anedrales. No tiene valor económico
(GANGA).

RODONITA (silicato de manganeso).

El mineral es también escaso en las muestras colectadas. Se -
presenta en cristales anedrales. No tiene valor económico (GANGA)

2).- Area Mar de Plata.

De las 10 muestras analizadas, 8 presentan mineralización de cuarzo-pirita. Las 2 muestras restantes presentan una mineralización de cuarzo - pirita - argentita.

- Descripción de los principales minerales identificados.

CUARZO (Óxido de silicio). Referencia foto # 8.

Es el mineral más abundante en las muestras que se colectaron. Se presenta en forma de cristales anedrales aunque pueden encontrarse algunos euedrales. Económicamente no es valioso (GANGA) y constituye la matriz entre la cual destacan los demás minerales.

PIRITA (sulfuro de fierro)

Es el segundo en abundancia en las muestras colectadas. Se presenta en forma de cristales subedrales y anedrales. Tiene poco valor económico (MENA).

ARGENTITA (sulfuro de plata). Referencia foto # 8.

Este mineral se presenta muy escasamente en las muestras, ya que - solo aparece en 2 de las 10 colectadas. Los cristales son subedrales.

FELDESPATO POTASICO (silicio-aluminato de potasio).

Mineral muy escaso que se encuentra entre la matriz de cuarzo. Se presenta en forma de cristales anedrales. No tiene valor económico (GANGA).

- Análisis cuantitativo.

Una vez definidas cualitativamente las especies minerales existentes tanto en mar de plata, como en la región del mismo distrito minero elegida como patrón de referencia, se procedió a la identificación, caracterización y cuantificación de los minerales de plata. Los cuales resultan ser los más importantes (económicamente), en todo el distrito minero.

- Resultados de los análisis cuantitativos.

De los análisis cuantitativos hechos a los minerales de plata, se encontró que estos estaban divididos en 3 grupos:

En el primero se hallaron minerales de plata con una pequeña concentración en cobre menor que 1% ; En el segundo grupo la concentración de cobre era mayor que 1% y menor que 15%; finalmente en el tercer grupo la concentración en cobre era definitivamente mayor que 15%. Con lo que cada grupo quedó clasificado de la siguiente forma:

Area con altos valores en plata.

1er grupo	Variación en concentración en los minerales a los que se aplicó el análisis - cuantitativo.			Promedio.
	Mínimo		Máximo	
S	15%	-	18%	16.61%
Ag	81.2%	-	84.6%	82.81%
Cu	0.4%	-	0.8%	0.56%

Este mineral es argentita. (% = % en peso).

Nota: El análisis fué aplicado a 6 diferentes minerales, tomándose en todos los casos el lugar en donde se registraba el pico de máxima intensidad como lectura correspondiente a la concentración al elemento a analizarse.

2 ^{do} grupo	Variación en concentración en los minerales a los que se aplicó el análisis cuantitativo.			Promedio.
	Mínimo		Máximo	
S	22%	-	26.5%	24.5%
Ag	67%	-	70%	68.08%
Cu	3.5%	-	11%	7.41%

Este mineral es argentita cuprífera.

Nota: El análisis fué aplicado a 6 diferentes minerales.

3 ^{er} grupo	Variación en concentración en los minerales a los que se aplicó el análisis cuantitativo.			Promedio.
	Mínimo		Máximo	
S	14%	-	17.5%	15.83%
Ag	57.2%	-	62.5%	59.9%
Cu	20%	-	28.8%	24.26%

Este mineral es estromeyerita.

Nota: El análisis fué aplicado a 3 diferentes minerales.

Area Mar de Plata.

1er grupo	Variación en concentración en los minerales a los que se aplicó el análisis cuantitativo.			Promedio.
-----------	---	--	--	-----------

	Mínimo	-	Máximo	
S	13.5%	-	17%	15.25%
Ag	82.3%	-	86%	84.15%
Cu	0.5%	-	0.7%	0.6%

Este mineral es Argentita.

Nota: El análisis fué aplicado a 2 diferentes minerales.

En Mar de Plata el único mineral de plata que se encontró fué Argentita.

Estos resultados estadísticos operan con un error del $\pm 2.5\%$ aunque la incertidumbre de medida de la microsonda es aproximadamente de $\pm 0.05\%$.

- Comentarios acerca de los resultados obtenidos y su referencia al apéndice fotográfico que se presenta.

4 son los modos de operación de la microsonda electrónica que se utilizarón para caracterizar completamente los especímenes geológicos colectados, y con ello tener una información clara acerca de la naturaleza del yacimiento en estudio.

1).- En el caso de electrones secundarios la información que se obtiene permite indagar acerca de cuál es la microestructura que presentan los diferentes minerales, así como determinar su distribución espacial, con lo que se obtiene cuáles son los minerales de mayor abundancia y cuáles son los que escasamente se presentan. Esto reviste importancia pues permite entre otras cosas diferenciar entre las distintas fases presentes, gracias a que la microsonda en su principio de obtención de imagen, en base a la formación de contraste establece que a diferentes concentraciones en las distintas fases cristalinas que presente el espécimen estudiado, le corresponderá una diferente tonalidad de gris. (La microsonda para la imagen maneja 5 diferentes tonos de gris), tal como es evidenciado en las fotos 1 a 8. Donde a los minerales con composición de elementos químicos con mayor número atómico le corresponderá un tono más claro, y los minerales compuestos de elementos ligeros uno más oscuro. Lo cuál se muestra claramente en la foto 2, entre la Pirita $Fe S_2$ (tono claro), y el Cuarzo $Si O_2$ (tono oscuro). Lo anterior se debe a que la intensidad de electrones reflejada por un mineral pesado es mayor que la de uno ligero, y esto trae como consecuencia el que en la pantalla de la microsonda el mineral pesado luzca con mayor brillantez y tono claro, y el mineral ligero con menor brillantez y tono oscuro. - Ejemplo foto 6. (Experimentalmente se ha comprobado que a mayor número atómico mayor es la producción de electrones retrodispersados así como de electrones secundarios, a partir de los cuales se genera la imagen).

2).- Con el mapeo o imagen de rayos X, la información obtenida por el punteo que señala con exactitud la zona de la muestra que es ocupada por el elemento de interés (fotos 9 a 17), permite discernir acerca del cuál es la posición espacial y cuáles son los límites de cada uno de los minerales identificados, lo que posibilita tener conocimiento acerca de no solo la naturaleza del espécimen geológico en estudio sino además de cuál es la distribución de cada uno de los elementos que se encuentran presentes. Datos que son de gran utilidad tanto para el geólogo que trata de indagar acerca del origen del yacimiento, como para el metalurgista que pretende obtener la extracción de los elementos de interés económico que se encuentren presentes.

Ahora bien la señal correspondiente al elemento químico que esta presente se ve caracterizada por una gran densidad de puntos que en su conjunto forman el área ocupada por el mineral que lo contiene, aunque hay que hacer la aclaración de que también existen algunos puntos dispersos en toda la zona circundante pero esto no es otra cosa que ruido de fondo electrónico, fotos (10, 11).

3).- El perfil de rayos X característicos trae como consecuencia el que se tenga acceso a la información de como varia la concentración de cada uno de los elementos químicos identificados al través de una línea horizontal, que sería considerando al mineral en un plano, la variación en concentración al través del eje X.

Obteniendo con ello información acerca de Homogeneidad del espécimen en estudio.

La Homogeneidad es una propiedad relevante pues nos induce a conocer si el elemento de interés esta distribuido por igual en la totalidad de la muestra, ó existen zonas de gran concentración y en cambio otras en las que se encuentra un empobrecimiento local del elemento de interés.

Lo anterior posibilita en el caso de especímenes geológicos la identificación de diferentes minerales. Ejemplo fotos (18, 19).

4).- El espectro de emisión generado a partir de la interacción del haz electrónico con la muestra. (Por excitación y desexcitación de la muestra), posibilita en principio la identificación de los elementos químicos que componen el espécimen a ser analizado simultáneamente, es decir permite el acceso a un análisis multielemental, en el caso de usar un espectrómetro de energía dispersiva, y la posibilidad de con este espectro, poder efectuar análisis cuantitativos. Además en base a que el haz puede ser dirigido sobre cada una de las fases diferenciadas en la imagen por electrones secundarios, se tiene acceso a información clara y precisa acerca de cuál o cuáles son los minerales que dichos elementos químicos identificados definen, en cada una de las fases presentes. Las fotos (20 a - 22), definen a un solo mineral y la foto 23, a una combinación de 2 minerales.

El espectro definido para los distintos minerales de plata identificados a los cuales les fue aplicado el análisis cuantitativo, permite deducir que los elementos químicos que se encuentran presentes en todos los minerales de plata son: Ag, S y Cu. De acuerdo a la posición espectral de cada uno de ellos, esto es en un gráfico de Intensidad (cps), contra Energía (Kev), se localiza a la Plata Ag en 2.98 Kev, radiación característica L α , S Azufre se localiza en 2.30 Kev radiación característica K α , y Cobre Cu, localizado en 8.04 Kev radiación característica K α , permite deducir que la separación de las líneas es lo suficientemente grande como para evitar que se produzcan interferencias causadas por traslape, que es producido por líneas características de elementos químicos que se encuentren muy próximas una a otra. Ya que la resolución espectral del detector que es de Si-Li, es de 200ev es decir, 0.2 Kev. Y de acuerdo a esta, se puede ver fácilmente que no existe la posibilidad de traslape entre S 2.30 Kev y Ag 2.98 Kev que son los que se encuentran cercanos en el espectro obtenido.

Por otro lado fenómenos de interferencia de matriz, no son importantes debido a que en los minerales analizados, se hizo uso de la opción de

(2)
dirigir el haz sobre el mineral a ser cuantificado y únicamente sobre este, y se realizaron los análisis cuantitativos de forma tal que así se redujo el efecto del elemento más abundante en los especímenes colectados y que constituye la matriz de los mismos que es el Silicio Si.

Esto permite finalmente que el análisis cuantitativo sea más confiable al lograr decrementar las correcciones que el programa de computación debe realizar.

H).- Apéndice fotográfico.

PARTE A.

Electrones Secundarios.

**Información: Morfología y Microestructura
de Minerales .**

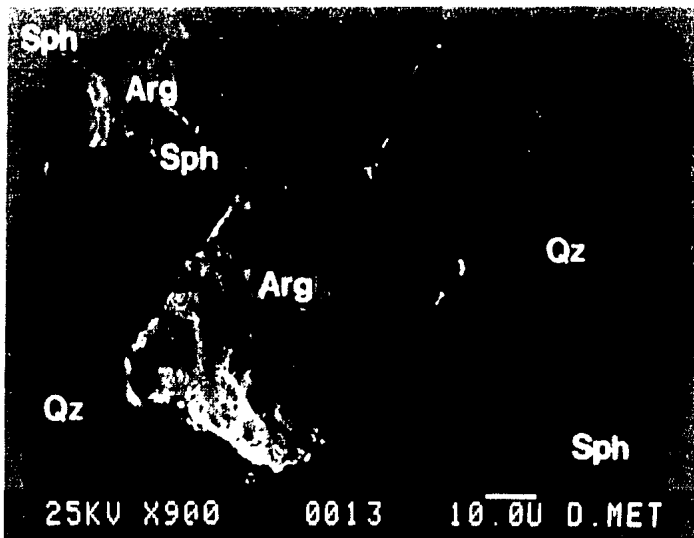


Foto # 1. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Argentita (Arg), Cuarzo (Qz), Esfalerita (Sph).

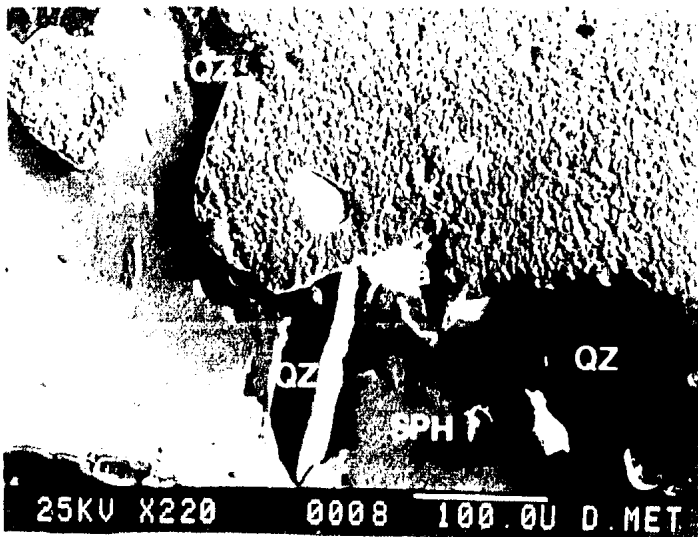


Foto # 2. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Pirita (Py), Esfalerita (Sph), Cuarzo (Qz), Calcopirita (Cpy), y Galena (Ga).

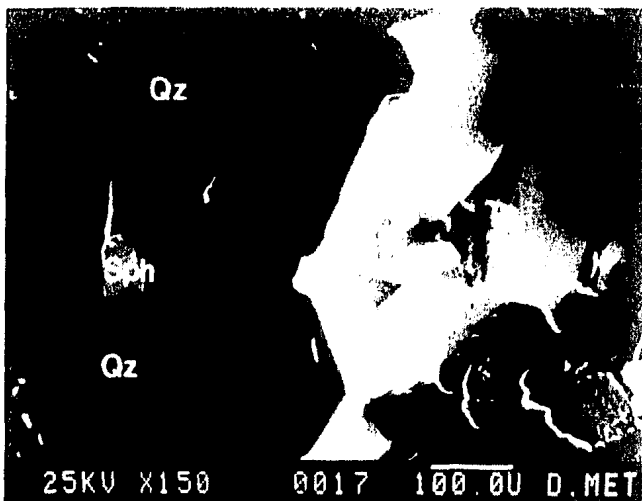


Foto # 3. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Galena (Ga), Cuarzo (Qz), Esfalerita (Sph).

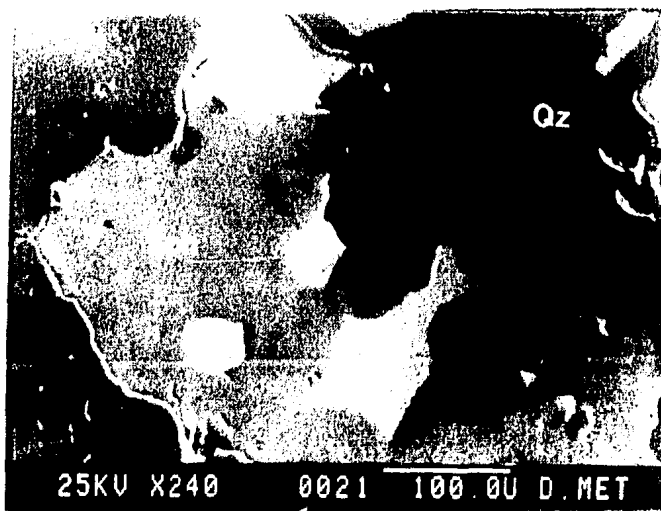


Foto # 4. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Cuarzo (Qz), Esfalerita (Sph), Galena (Ga).

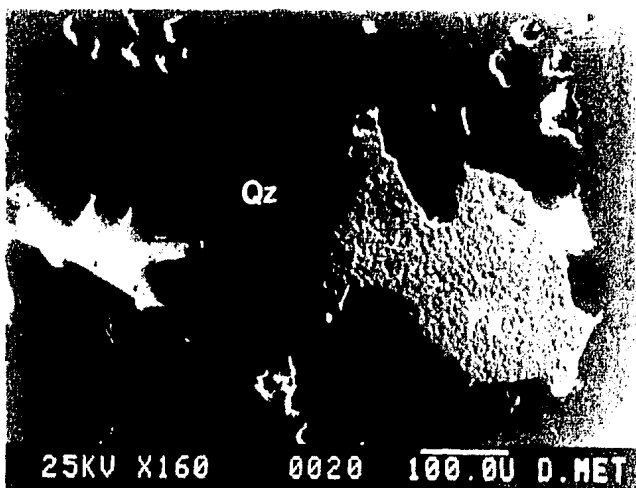


Foto # 5. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Piritita (Py), Cuarzo (Qz), Argentita (Arg).

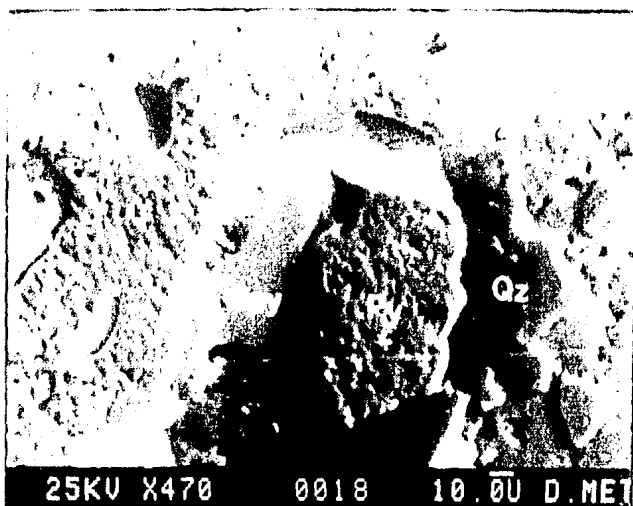


Foto # 6. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Piritita (Py), Calcopiritita (Cpy), Cuarzo (Qz), Argentita (Arg).

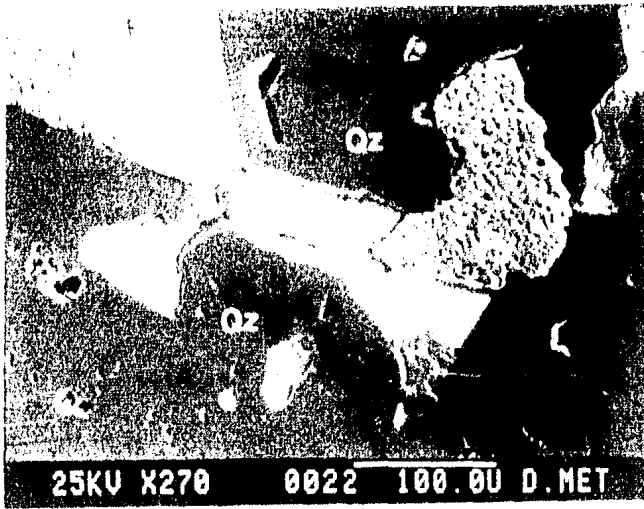


Foto # 7. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Cuarzo (Qz), Pirita (Py), Galena (Ga), Calcopirita (Cpy), Argentita (Arg).

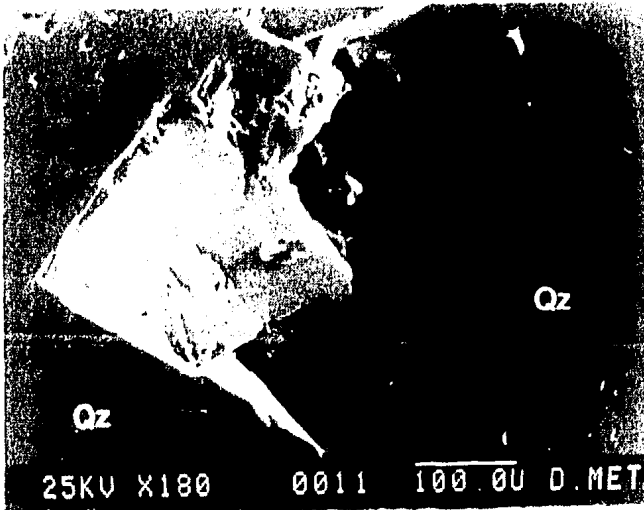


Foto # 8. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Argentita (Arg), Cuarzo(Qz).

PARTE B.

Mapeo, Imagen de Rayos X.

Información: Identificación y
Distribución de los Elementos
Químicos de Interés.

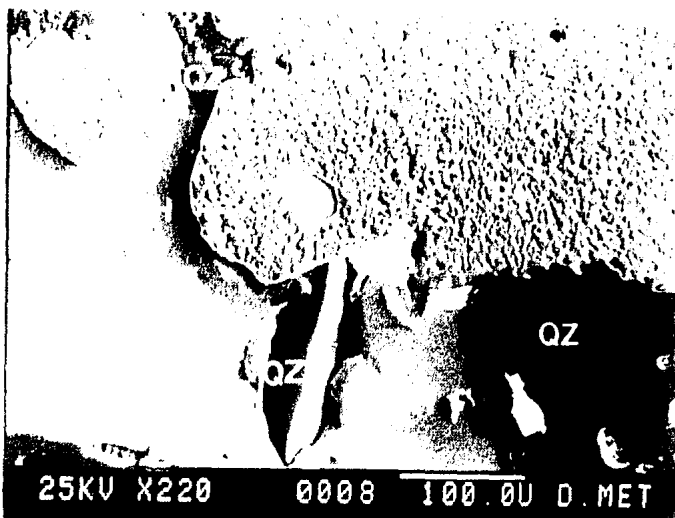


Foto # 9. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Pirita (Py), Esfalerita (Sph), Cuarzo (Qz), Calcopirita (Cpy), Galena (Ga).

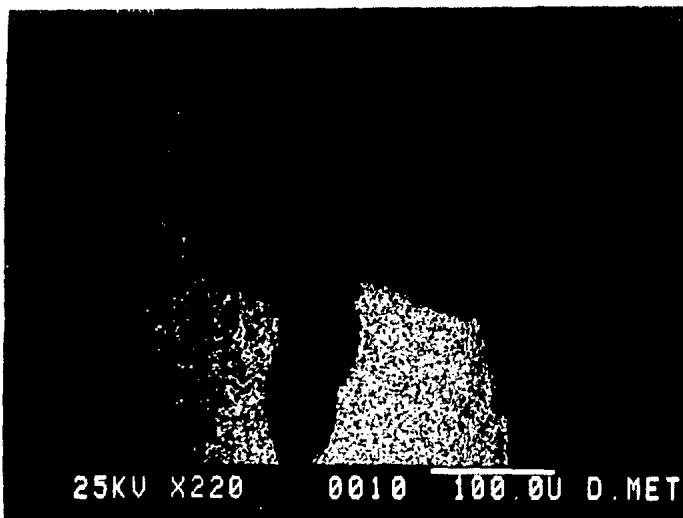


Foto # 10. Distribución de Zinc, (Zn), en la Esfalerita de la foto # 9.



Foto # 11. Distribución de Cobre, (Cu), en la Calcopirita de la foto # 9.

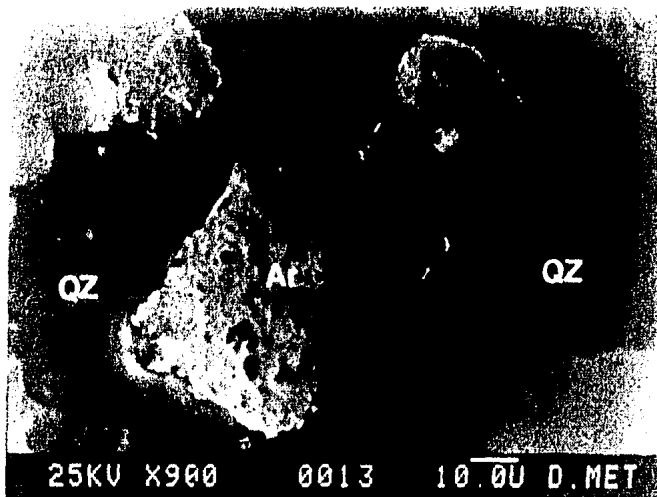


Foto # 12. Electrones secundarios, los minerales que se ilustran son: Cuarzo (Qz), Argentita (Ar) , Esfalerita (Sph).

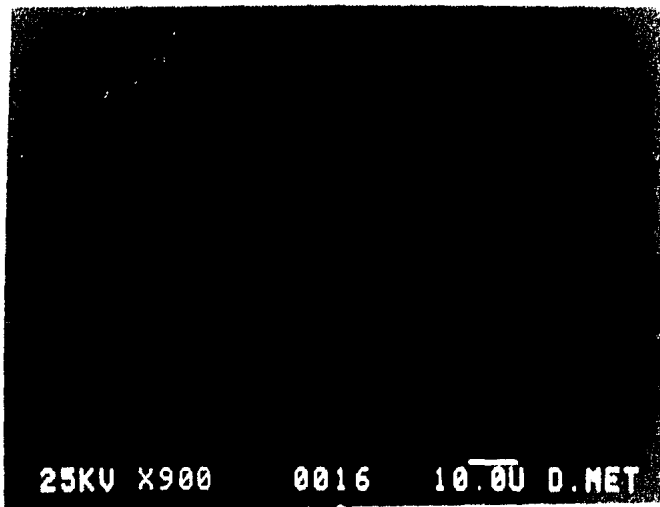


Foto # 13. Distribución de Plata, (Ag), en la Argentita de la foto # 12.



Foto # 14. Distribución de Silicio, (Si), en el Cuarzo de la foto # 12.

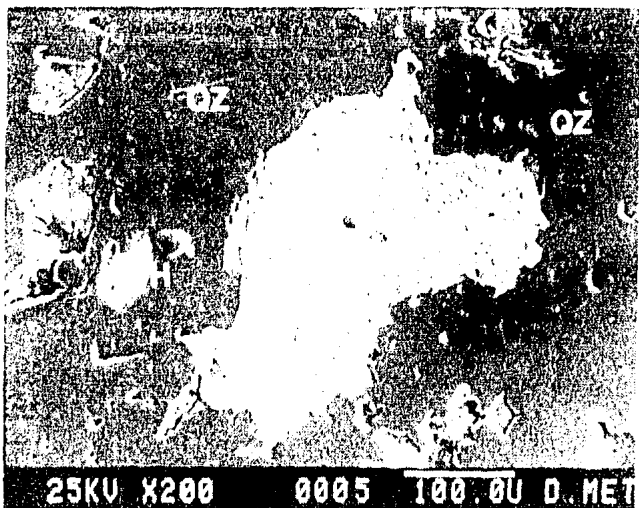


Foto # 15. Electrones secundarios, minerales que se ilustran son: Pirita (Py), Rodocrosita (Rdr), Cuarzo (Oz), Esfalerita (Sph).



Foto # 16. Distribución de Hierro, (Fe), en la Pirita de la foto # 15.



Foto # 17. Distribución de Silicio, (Si), en el Cuarzo de la foto # 15.

PARTE C.

Perfil de Línea de Rayos X Característicos.

**Información: Variación en la Concentración
de los Elementos Químicos Presentes en -
Especies Minerales.**



Foto # 18. Perfil de rayos X característicos correspondiente a la variación en concentración de Plata, (Ag).



Foto # 19. Perfil de rayos X característicos correspondiente a la variación en concentración de Cobre, (Cu).
El mineral de la izquierda con mayor Plata y menor Cobre es: Argentita cuprífera. El mineral de la derecha con menor Plata y mayor Cobre es: Estromeyerita.

PARTE D.

Espectro de Emisión de Rayos X Característicos.

Información: Análisis Multielemental que Permite
en Base a los Elementos Químicos Identificados Obten
er el ó los Minerales que estos Definen.

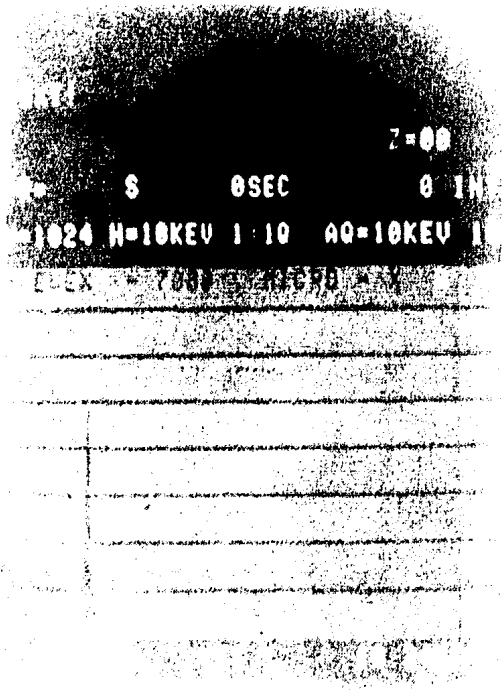


Foto # 20 Espectro obtenido de un espectrómetro de energía dispersiva. El elemento identificado es Silicio, (Si), el mineral que define es Cuarzo, (Si O_2).

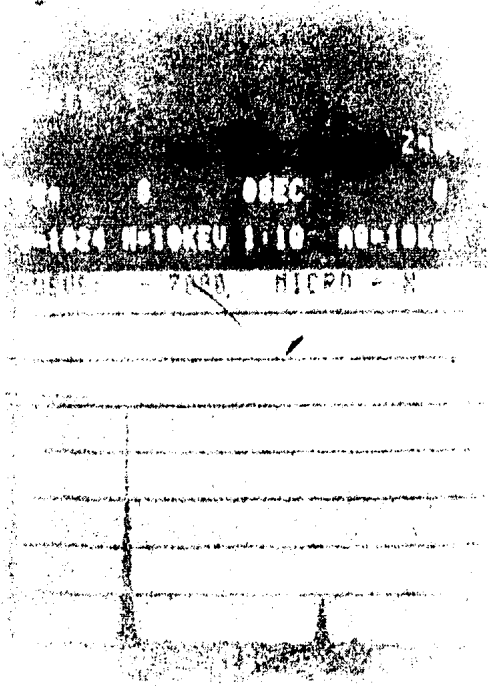


Foto # 21. Espectro obtenido de un espectrómetro de energía dispersiva.
Los elementos identificados son: Fierro, (Fe), y Azufre, (S),
el mineral que definenes Pirita (Fe S_2).

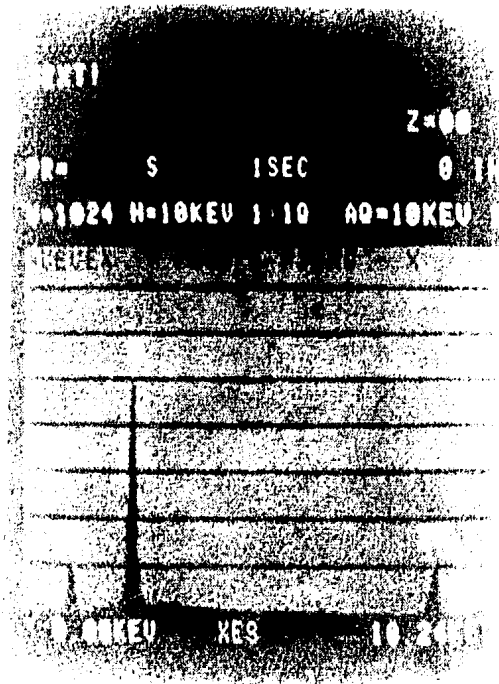


Foto # 22. Espectro obtenido de un espectrómetro de energía dispersiva. Los elementos identificados son: Zinc, (Zn), y Azufre, (S), el mineral que definen es Esfalerita (Zn S).

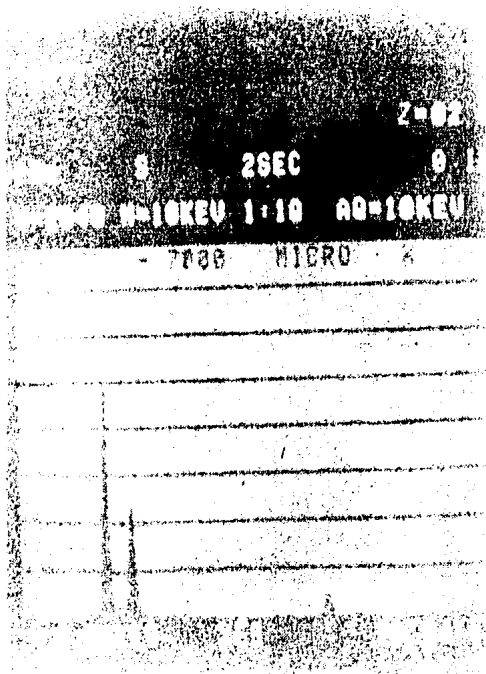


Foto # 23. Espectro obtenido de un espectrómetro de energía dispersiva.

Los elementos indentificados son: Silicio (Si), Hierro (Fe), y Azufre (S), los minerales definidos son: Cuarzo (Si O_2) y Pirita (Fe S_2).

V.- CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto en Mar de Plata, como en la zona del mismo distrito minero con altos valores en plata (y que fué escogido como referencia), se desprende que la mineralización con valor económico, hallada en nuestra área de interés (Mar de Plata), es sumamente escasa. Esta se limita a un par de cristales de argentita - (sulfuro de plata), en cada una de las muestras en que esta fué identificada.

Lo anterior sumado al hecho de que las asociaciones características de la mineralización de plata, desaparecen de hecho en nuestra área de interés (calcopirita-argentita, esfalerita-argentita, pirita-argentita), traen como consecuencia el que el yacimiento conocido con el nombre de Mar de Plata carezca de valor económico.

Asimismo se presenta la hipótesis de que dicho yacimiento (de acuerdo a su localización) es una extensión o satélite del cuerpo principal - de mineralización, que esta localizado al sur del mismo distrito minero (Pachuca-Real del Monte). Y que debido a que se encuentra en los límites de las características geológico-estructurales, estas pueden ser la causa de que el yacimiento Mar de Plata resulte estéril.

Hay que hacer énfasis en que el objetivo del trabajo se ha cumplido satisfactoriamente, ya que los resultados fueron obtenidos gracias al empleo de una microsonda electrónica, proporcionando conclusiones tales -- como la de que el yacimiento Mar de Plata carece de valor económico, lo que no es obra de la casualidad sino que se logró después de un análisis exhaustivo de las muestras colectadas en la zona de interés, comparándose

los resultados ahí obtenidos con los del área del mismo distrito minero, que ya esta siendo explotado con una buena ley en plata. Aquí la microsonda dió un resultado positivo en cuanto a la existencia y distribución de los distintos minerales de plata presentes, resultados que al ser comparados con los obtenidos en Mar de Plata, dieron forma a la conclusión de esterilidad de este yacimiento. Dicha conclusión no es definitiva pero tiene un gran peso en el balance general que dirá finalmente si el yacimiento mineral tiene o no interés económico.

Por otro lado el valor del empleo de la microsonda, radica en que esta puede ser aplicada a cualquier tipo de yacimiento, y no solo a aquellos que sean parecidos al estudiado.

El peso de una buena mineragrafía equivale a darnos la pauta para poder decir con confianza el que un yacimiento mineral sea potencialmente bueno o malo.

La microsonda no es una técnica definitiva sino es mas bien complementaria, esto quiere decir que es una de las partes involucradas en todo el estudio. Sin embargo sus resultados arrojan bastante luz acerca de la naturaleza de un yacimiento.

La técnica usualmente ocupada para la descripción e identificación de minerales, es la microscopía óptica de reflexión, aprovechando las propiedades ópticas de los distintos minerales presentes, pero esta es lenta, no muy confiable y no permite la obtención de la distribución de los elementos químicos de interés, ni aún la realización de análisis cuantitativos sobre los especímenes geológicos identificados, cosa que ni aún fluorescencia o difracción de rayos X puede lograr.

Es por estos inconvenientes el que el empleo de una microsonda electrónica en el futuro sea probablemente quien sustituya en gran parte los análisis convencionales por microscopía óptica y se convierta en una herramienta de gran utilidad para el geólogo o cualquier profesionalista -

que se dedique al estudio de los yacimientos minerales.

Finalmente de todo lo anterior podría concluirse que en el aspecto práctico fué un error craso el haber permitido que se barrenara, sin -- antes acudir a una información más completa de la naturaleza del yaci-- miento en cuestión. Puede afirmarse que otro de los objetivos del tra-- bajo es mostrar que con la aplicación de técnicas de investigación más exactas entre las que se incluye la microsonda electrónica puede evi-- tarse en lo futuro que se sigan cometiendo los mismos errores, ya que - si bien es cierto no se tiene un 100% de certeza en los resultados obte-- nidos, se supera con mucho la confiabilidad de las técnicas tradiciona-- les.

VI.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- J.W.S. Hearle, J.T. Sparrow and P.M. Cross, the use of the -- Scanning Electron Microscope, Pergamon Press, Oxford, New-York, Toronto, 1973.
- 2.- J. Philibert, "A Method for Calculating the Absorption Correction in Electron-Probe Microanalysis", X-ray Optics and X-ray Microanalysis, pp 379-392, Academic Press, New-York, 1963.
- 3.- K.F.J. Heinrich, "The Absorption Correction Model for Microprobe Analysis", Second National Conference on Electron Microprobe Analysis Extended Abstracts (1967).
- 4.- J. Philibert and R. Tixier, "Electron Penetration and the Atomic Number Correction in Electron Probe Microanalysis", Brit. J. App. Phys., 1, pp 685-694, (1968).
- 5.- H. Yakowitz and K.F.J. Heinrich, "Quantitative Electron Probe -- Microanalysis: Absorption Correction Uncertainty", Mikrochimica Acta, 1, pp 182-200, (1968).
- 6.- M.J. Berger and S. M. Seltzer, "Tables of Energy Losses and -- Ranges of Electrons and Positrons", NASA Report N65-12506, (1964).
- 7.- S.J.B., "Characteristic Fluorescence Corrections in Electron -- Probe Microanalysis", Brit. J. App. Phys., 16, pp 913-930, (1965).
- 8.- K.F.J. Heinrich, "X-ray Absorption Uncertainty", The Electron-Microprobe, op. cit., pp 296-377.
- 9.- L.S. Birks, D.J. Ellis, B.K. Grant, A.S. Frish, and R.B. Hickman, the Electron Microprobe, Eds, Wiley, New York, (1966).
- 10.- A.H. Compton and S.K. Allison, X-Rays in Theory and Experiment, - Van Nostrand, New York, (1965).
- 11.- L.S. Birks, Electron Probe Microanalysis, Eds, Wiley, New York, - (1971).

12.- J.W. Colby, MAGIC IV. A Computer program for Quantitative Electron Microprobe Analysis, Bell Telephone Laboratories, Allentown Penn. - (notes), 1971 .

13.- Robert E. Ogilvie, Quantitative Electron Probe Microanalysis - employing Wavelength and energy Dispersive techniques, Jeol USA., Medford Massachusetts, (Lecture notes), 1978.

14.- V.I. Smirnov, Geology of Mineral Deposits, MIR Publishers, -- Moscow, (1978).

15.- J. Valverde, R. Peza, Informe acerca de los trabajos realizados en el proyecto Mar de Plata durante 1981 (Geología), Consejo de Recursos Minerales, HGO. México, diciembre, 1981.

16.- Fries Carl, ET.AL., Geología y yacimientos del Distrito Minero Pachuca-Real del Monte, HGO. México, Boletín 5-E, CRNNR, 1963.