

8  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO - ZINC  
PROSPECCION GEOLOGICA Y GEOFISICA  
PRINCIPIOS DE EXPLOTACION Y  
BENEFICIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A N :**  
**JORGE MARTINEZ SANCHEZ  
MARICELA ORTIZ MEDINA  
IRMA PAVON OCHOA  
HECTOR PLATA ARCOS  
JUAN SALAZAR ABASCAL**



**MEXICO, D. F.**

**1994**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-077

SR. JORGE MARTINEZ SANCHEZ  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

RESUMEN


- I INTRODUCCION
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- III MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- IV PROSPECCION GEOLOGICA
- V PROSPECCION GEOFISICA
- VI EXPLOTACION Y BENEFICIO
- VII APLICACIONES
- BIBLIOGRAFIA
- ILUSTRACIONES

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.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 26 de octubre de 1992  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

  
JMCS'EGLA'gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

SRITA. MARICELA ORTIZ MEDINA  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

- RESUMEN
- I INTRODUCCION
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- III MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- IV PROSPECCION GEOLOGICA
- V PROSPECCION GEOFISICA
- VI EXPLOTACION Y BENEFICIO
- VII APLICACIONES
- BIBLIOGRAFIA
- ILUSTRACIONES

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.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 26 de octubre de 1992  
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-076

SRITA. IRMA PAVON OCHOA  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

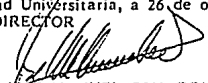
YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

- RESUMEN
- I INTRODUCCION
  - II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
  - III MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
  - IV PROSPECCION GEOLOGICA
  - V PROSPECCION GEOFISICA
  - VI EXPLOTACION Y BENEFICIO
  - VII APLICACIONES
- BIBLIOGRAFIA  
ILUSTRACIONES

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.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 26 de octubre de 1992  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'EGLM'ptg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-023

SR. HECTOR PLATA ARCOS  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
III	MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
IV	PROSPECCION GEOLOGICA
V	PROSPECCION GEOFISICA
VI	EXPLOTACION Y BENEFICIO
VII	APLICACIONES
	BIBLIGRAFIA
	ILUSTRACIONES

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 18 de marzo de 1993.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*EGLM\*gggt\*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

SR. JUAN SALAZAR ABASCAL  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

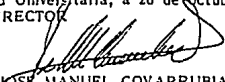
RESUMEN

- I INTRODUCCION
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- III MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- IV PROSPECCION GEOLOGICA
- V PROSPECCION GEOFISICA
- VI EXPLOTACION Y BENEFICIO
- VII APLICACIONES
- BIBLIOGRAFIA
- ILUSTRACIONES

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.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 26 de octubre de 1992  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS'EGLM'grg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-059

SR. RAMON SANDOVAL MARTINEZ  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geofísico:

YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO-ZINC  
Prospección Geológica y Geofísica  
Principios de Explotación y Beneficio

RESUMEN

- I INTRODUCCION
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- III MODELOS DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC
- IV PROSPECCION GEOLOGICA
- V PROSPECCION GEOFISICA
- VI EXPLOTACION Y BENEFICIO
- VII APLICACIONES
- BIBLIOGRAFIA
- ILUSTRACIONES

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.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Ciudad Universitaria, a 1 de septiembre de 1993.

EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*EGLM\*ggg\*



## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi Alma Mater:  
Universidad Nacional Autónoma de México.**

**A la Facultad de Ingeniería.**

**Al Director de tesis Ing. German Ariaga García, por su ayuda y dedicación para la culminación de este trabajo.**

**A los sinodales:**

**Ing. Carlos Garza G-V  
Ing. Alejandro Guzmán A.  
Ing. Miguel Vera O.  
Ing. Andrés Castillo T.  
por sus críticas y sugerencias que nos permitieron concluir el presente trabajo.**

**Y especialmente a los:**

**Ing. Gabriel Moreno P.  
Ing. José Tiscareño P.**

**YACIMIENTOS MINERALES DE PLOMO - ZINC**  
**Prospección Geológica y Geofísica**  
**Principios de Explotación y Beneficio**

	Pag.
<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCION</b>	
1.1 Antecedentes históricos	2
1.2 Propiedades físicas	8
1.3 Propiedades químicas	9
1.3.1 Plomo	9
1.3.2 Zinc	10
1.4 Propiedades mineralógicas	11
1.5 Propiedades geoquímicas	12
1.5.1. Plomo	13
1.5.2. Zinc	15
1.6 Bibliografía	19
<b>CAPITULO 2. CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC</b>	
2.1 Clasificación de Schneiderhon (1941)	21
2.2 Clasificación de Niggli (1929)	22
2.3 Clasificación de Charles Meyer (1981)	22
2.4 Clasificación de Jensen Bateman (1979)	22
2.5 Clasificación de Blondel (1951)	23
2.6 Clasificación de Routhier (1963)	23
2.7 Clasificación propuesta	25
2.8 Bibliografía	27
<b>CAPITULO 3. MODELOS DE YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC</b>	
3.1 Mantos y chimeneas en series calcáreas	30
3.1.1 Paragénesis y sucesión	30
3.1.2 Alteración supergénica	31
3.1.3 Importancia económica	31
3.1.4 Litología	32
3.1.5 Estructuras	33
3.1.5.1 Fallas y fracturas	34
3.1.5.2 Estratos y horizontes favorables para la mineralización	34
3.1.6 Rocas ígneas vecinas	35
3.1.7 Historia geológica	35
3.1.8 Hipótesis genética	36
3.1.9 Ejemplos tipo	37

3.2	Volcánicos	37
3.2.1	Paragénesis y sucesión según R.F. Black	37
3.2.2	Alteración supergénica	39
3.2.3	Importancia económica	40
3.2.4	Litología	41
3.2.5	Estructuras	42
3.2.6	Historia geológica	43
3.2.7	Hipótesis genética	44
3.2.8	Ejemplos tipo	44
3.3	Pirometasomáticos o de skarn	45
3.3.1	Paragénesis	48
3.3.2	Alteración supergénica	48
3.3.3	Importancia económica	49
3.3.4	Litología y estratigrafía	49
3.3.5	Estructuras	50
3.3.6	Rocas ígneas vecinas	50
3.3.7	Historia geológica	51
3.3.8	Hipótesis genética	51
3.3.9	Ejemplos tipo	52
3.4	Vulcanosedimentarios	52
3.4.1	Paragénesis	53
3.4.2	Alteración supergénica	54
3.4.3	Importancia económica	54
3.4.4	Litología	55
3.4.5	Estructuras	56
3.4.6	Rocas ígneas vecinas	56
3.5	Mississippi Valley	56
3.5.1	Paragénesis	57
3.5.2	Alteración supergénica	58
3.5.3	Importancia económica	58
3.5.4	Litología y estratigrafía	58
3.5.5	Estructuras	59
3.5.6	Rocas ígneas vecinas	59
3.5.7	Historia geológica	59
3.5.8	Hipótesis genética	60
3.5.9	Ejemplos tipo	61
3.6	Sedimentarios	61
3.6.1	Paragénesis	61
3.6.2	Litología y estratigrafía	62
3.6.3	Estructuras	62
3.6.4	Hipótesis genética	63
3.6.5	Ejemplos tipo	64
3.7	Bibliografía	65

## CAPITULO 4. PROSPECCION GEOLOGICA

4.1 Guías fisiográficas y paleogeográficas	70
4.2 Guías litológicas y estratigráficas	76
4.3 Guías mineralógicas	77
4.4 Guías estructurales	84
4.4.1 Mantos y chimeneas	89
4.4.2 Volcánicos	89
4.4.3 Pirometasomáticos (Skarn)	89
4.4.4 Vulcanosedimentarios	89
4.4.5 Mississippi Valley	89
4.4.6 Sedimentarios	90
4.5 Guías geoquímicas	90
4.6 Bibliografía	92

## CAPITULO 5. PROSPECCION GEOFISICA

5.1 Introducción	96
5.2 Métodos Magnético Terrestre	98
5.2.1. Generalidades	98
5.2.1.2 Instrumentos empleados en prospección magnética terrestre	99
5.2.1.3 Trabajo de campo	100
5.2.1.4 Interpretación	102
5.2.2 Método de potencial Espontáneo	104
5.2.2.1 Fundamento físico del método	104
5.2.2.2 Trabajo de campo	105
5.2.2.3 Método de potenciales	105
5.2.2.4 Método de gradientes	106
5.2.2.5 Interpretación	107
5.2.3 Método de Polarización Inducida	108
5.2.3.1 Explicación teórica	108
5.2.3.2 Parámetros de medición	109
5.2.3.3 Instrumentos empleados	110
5.2.3.4 Técnicas de medida en campo	111
5.2.3.4.1 Método gradientes	111
5.2.3.4.2 Método bloques	111
5.2.3.5 Interpretación	111
5.2.4 Método TURAM	112
5.2.4.1 Generalidades	112
5.2.4.2 Parámetros observados	112
5.2.4.3 Dispositivos de medición	113
5.2.4.4 Trabajo de campo	113
5.2.4.5 Corrección de la información	114
5.2.4.6 Equipo de medición	115
5.2.4.7 Interpretación	115
5.2.4.8 Modalidad propuesta en el ejemplo	116

5.3 Ejemplos de aplicaciones en México	116
5.3.1 Método magnético terrestre en el Distrito Minero de Real de Angeles, Edo. de Zacatecas	116
5.3.1.1 Introducción	116
5.3.1.2 Localización	117
5.3.1.3 Objeto del estudio	117
5.3.1.4 Geología del yacimiento	117
5.3.1.5 Mineralogía	118
5.3.1.6 Investigación magnética terrestre	118
5.3.2 Estudio Geofísico con los métodos de polarización inducida, potencial natural y TURAM en el Area La Catalina, municipio de Guachinango, Jal.	119
5.3.2.1 Introducción	119
5.3.2.2 Localización	119
5.3.2.3 Objeto del estudio geofísico	119
5.3.2.4 Geología del depósito mineral	120
5.3.2.5 Mineralogía	121
5.3.2.6 Investigación geofísica	121
5.3.2.6.1 Polarización Inducida	121
5.3.2.6.2 Potencial Natural	122
5.3.2.6.3 Electromagnético TURAM	124
5.4 Conclusiones	125
5.5 Bibliografía	128

## CAPITULO 6. EXPLOTACION Y BENEFICIO

6.1 Explotación	130
6.1.1 Minado a cielo abierto	132
6.1.2 Minado subterráneo	133
6.1.2.1 Tumba sobre carga	133
6.1.2.2 Hundimiento por subniveles	134
6.1.2.3 Cuartos y pilares	136
6.1.2.4 Rebajes de piso	137
6.1.2.5 Corte y relleno hidráulico	137
6.1.2.6 Corte y relleno con tepetate	138
6.1.2.7 Lixiviación in situ	140
6.2 Beneficio.	140
6.2.1 Trituración	141
6.2.2 Molienda	141
6.2.3 Flotación	142
6.2.4 Metalurgia del plomo	142
6.2.5 Metalurgia del zinc	143
6.3 Bibliografía.	143

## CAPITULO 7. APLICACIONES

7.1 Plomo	147
7.1.1 Aleaciones	150
7.2 Zinc	152
7.3 Bibliografía	156

## RESUMEN

La presente tesis tiene como proposito, ayudar a quienes se dediquen a la prospección de yacimientos de plomo-zinc. Se inicia con la descripción de algunas propiedades para cada elemento.

El Pb en estado puro es insoluble en ácidos, presenta cierta plasticidad, bajo punto de fusión y alta densidad. El zinc es buen conductor de la electricidad y el calor, en estado puro es insoluble en ciertos ácidos.

Además se especifica las principales clasificaciones de los yacimientos de este tipo, de las que puede decirse que no existe una estandarización. Se basan principalmente en la tectónica, génesis, mineralogía, petrografía y estructuras. Y las clasificaciones recientes se basan en la génesis y la tectónica.

También se trata detalladamente los diferentes modelos de yacimientos, para lo cual se tomó como base, en la mayoría de los casos, yacimientos mexicanos.

Para la búsqueda de yacimientos se consideran algunas guías de prospección como: las fisiográficas, litológicas, mineralógicas, etc. En las guías estructurales se trató de buscar una correlación con los modelos expuestos.

A continuación se describen algunos métodos geofísicos que podrían ser útiles para la búsqueda de yacimientos. La ocurrencia de los minerales de plomo-zinc con minerales accesorios magnéticos permite su detección y delimitación por el método magnético. El método de Potencial Natural ubica los altos de los cuerpos mineralizados, donde una exploración directa lo localiza a menor profundidad. Se exponen los métodos de Polarización Inducida y Turam.

Después de la prospección se hace una introducción a algunos de los métodos que podrían usarse para la explotación y beneficio.

Y por último se consideró importante hacer mención a algunas de las aplicaciones que tienen separadamente el plomo y el zinc.



## **CAPITULO 1. INTRODUCCION**

**1.1 Antecedentes históricos**

**1.2 Propiedades físicas**

**1.3 Propiedades químicas**

**1.3.1 Plomo**

**1.3.2 Zinc**

**1.4 Propiedades mineralógicas**

**1.5 Propiedades geoquímicas**

**1.5.1. Plomo**

**1.5.2. Zinc**

**1.6 Bibliografía**

## 1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Es incierto el descubrimiento del plomo; algunos autores hablan de una antigüedad de 5000 años A.C.; por tanto, se tiene la seguridad de que el hombre contaba con él desde los albores de la Historia.

Tres pueblos primitivos lo utilizaron racionalmente: el egipcio, el indio y el hebreo. En las listas tributarias de uno de los faraones, Thumtes III, que reinó a orillas del Nilo hace más de tres mil años, se le menciona repetidas veces. De él se valían así mismo los indios con finalidades diversas: amuletos, afeites a base de óxidos, limpieza de la plata, pesos para el atirantado de hilos de hebras, en las artes rudimentarias de elaboración de los paños, etc. Igualmente se les cita en varios pasajes del antiguo testamento: en el Exodo, capítulo XV, versículo 10, dice: "Sopló tu espíritu y cubriólos la mar y fueron sumergidos como plomo en aguas impetuosas".

Sin embargo, el vestigio más remoto es una figura encontrada en un paraje próximo a los Dardanelos, que posiblemente coincida con el lugar que ocupó la Ciudad de Abidos con una antigüedad de unos tres mil años A.C.

Los caldeos fueron los primeros en asociar los metales a la idea de los Dioses del Sol, de la luna y de las estrellas; simbolismos que luego habrían de transmitirse de generación en generación hasta la Edad Media, en la que los alquimistas, precursores de los químicos modernos, rubricaron al plomo como el signo de Saturno, porque al igual que éste era serio, triste y lento, tenía color de ceniza, mostrábase remiso en sus acciones y devoraba a sus hijos, el plomo, por su parte destruía a los metales.

Opiniones para explicar el porqué de esta representación en verdad no faltan y, entre ellas, algunas muy sugestivas, como la de imaginar que los alquimistas relacionaban al plomo con Saturno en razón a que, según ellos el plomo era el más antiguo de los metales y Saturno el Padre de los Dioses.

No poco de los usos actuales del plomo han tenido su origen en la antigüedad. Tal ocurre con las cañerías, las planchas y los esmaltes cerámicos. En tiempo de los faraones por ejemplo el vidrioado de las vasijas de barro, determinadas canalizaciones, ciertas soldaduras e incluso bastantes motivos ornamentales se hacían en Egipto a base de este metal.

Los asirios se sirvieron profusamente de la plancha de plomo, sobre todo en los famosos Jardines de Babilonia, a fin de retener la humedad necesaria para el mantenimiento de la vegetación. Y decir de los romanos. Estos no sólo extendieron los empleos del

plomo, singularmente en acueductos-fistulae, sino que multiplicaron el número de sus aplicaciones. Como dato curioso, se tiene la escritura en placas delgadas mediante estiletos metálicos.

Durante el reinado de Constantino, las conducciones de agua que había en la Ciudad de Roma totalizaban más de 8,000 toneladas de plomo.

De la importancia que alcanzaron las obras de esta índole en todo el ámbito geográfico de su vasto imperio son testimonio elocuente los cuatro siglos de intensa y fecunda actividad minera en la mayoría de los territorios que se hallan bajo su dominio. Los tubos se hacían en quince tamaños normales, de unos tres metros de longitud cada uno, en excavaciones arqueológicas recientes: en el interior de minas explotadas ya en aquella época, como la del Centenillo, en España; en las ensenadas de algunos puertos, verbigracia, en el de Cartagena, se han descubierto multitud de enseres y utensilios de plomo, a saber tinajas, cazón, etc., en perfecto estado de conservación. A menudo los baños públicos estaban revestidos con planchas también de plomo; y a veces, incluso los muros de las edificaciones, para protegerlas interiormente de la humedad, como pudo comprobarse en una casa de Pompeya. Es evidente que una técnica tan avanzada como la que se acaba de glosar se encuentra en unas cuantas pero significativas manifestaciones, únicamente se concibe con un desarrollo paralelo en el uso de las soldaduras blandas.

El proceso de copelación para separar la plata contenida en el plomo argentífero y obtener, de paso, óxidos de este metal más o menos puros, que luego aprovechaban en ungüentos y cosméticos, a buen seguro fue un legado que recibieron los romanos de civilizaciones anteriores.

Ahora bien, una gran parte de la plata acumulada por caldeos, babilonios, asirios, medos y persas, que siglos más tarde, cuando Alejandro entró en posesión de las Aqueménidas, habría de vitalizar industria y comercio, sin duda se extrajo de manera distinta merced a sucesivos enfriamientos, al igual que en el método Pattison, que tan en boga estuvo a fines de la centuria pasada y a principios de la presente.

No es extraño, pues, que en la antigüedad los metalurgistas gozarán de fama y prestigio de magos o que se les enalteciera a la dignidad del sacerdocio, como tampoco el que la diosa Ea de la Ciudad de Eridu, en las costas del Golfo Pérsico, dispensara singular aprecio a quienes le hacían la ofrenda del anna, el metal pesado que con tanto afán buscaba.

En su residencia de Susa, Darío I, fundador del imperio persa, hizo esculpir la siguiente inscripción: "Los materiales utilizados en este palacio han sido traídos desde tierras lejanas: La madera de cedro, del Líbano; La de teca, de la India;

el oro, de Cerdeña y de Batriana; el lapislázuli y el cinabrio, de Sodiana, la turquesa de Corasmia; la plata y el plomo de Egipto".

Si muchas de las aplicaciones tradicionales del metal considerado han perdurado hasta nuestros días, otras en cambio, han ido desapareciendo al correr de los tiempos. Sucedió así con la moneda, los chinos fueron los primeros en utilizar el plomo para este objeto, unos dos mil años antes de J.C. Les siguieron, entre otros, griegos y romanos, los cuales lo incorporaron a los broncees usados al afecto en proporción variable de un 3 a un 30 por ciento. Por último, en época aún cercana, los gobiernos de algunos países carentes de recursos se vieron en la necesidad de poner en circulación piezas de cambio en las que el plomo se recubría con una ligera capa de un metal precioso.

Algo parecido cabe señalar en relación con el papel desempeñado por el plomo en la balística. Los perdigones, que hoy solamente se consumen en el deporte de la caza, tuvieron como predecesores una gran variedad de proyectiles, de carácter bélico en su inmensa mayoría. El primero de todos fue la bola arrojadiza, que proporcionó mayor agresividad a la honda, el último todavía puede encontrarse en los parques de municionamiento de los ejércitos: la bala con alma de plomo y revestimiento exterior de acero. En la Edad Media, el plomo derretido constituyó una de las armas con los defensores de castillos y fortalezas repelían a las huestes enemigas en los asaltos y en los asedios. A título anecdótico: en Roma, los gladiadores reforzaban guanteletes y manoplas con nudillos de plomo, para dar mayor contundencia a los golpes.

Otros antecedentes históricos cuya reminiscencia en el mundo de hoy pronto desaparecerá, es el de los ataúdes de plomo. En lechos mortuorios de este tipo descansan las cenizas de reyes, guerreros y personajes famosos del pasado.

Es muy probable que el zinc, como metal, haya sido conocido en épocas remotas, aunque su obtención y uso fuera tan sólo ocasional, pues no se comprendía muy bien su naturaleza.

"Plata falsa" fue la primera denominación dada al zinc por Estrabón en el pasaje que describe a Andriera en Misia. Es posible que esta sea demasiada vaga para que sirva de guía en un estudio histórico, pero es interesante tener en cuenta que cerca de Balía, no lejos del lugar de Andriera, existen depósitos de zinc en forma de blenda, sulfuro de zinc, con piritas de hierro y galena.

En el Río Indo, tres milenios A.C., se desarrolla una cultura que conoce los decimales, pues se han encontrado en Moherjo-daro, Marappa y otros puntos balanzas en las que presupone su conocimiento.

Esta gran cultura, dos mil años más tarde, en el 1100 años A.C., va a obtener zinc metal, como cuenta el Rey Madanapala al describir la tostación y reducción de la calamina para lograr un metal de aspecto muy parecido al estaño. Esta cultura que produce admiración, desaparece bajo el influjo del pensamiento de Buda (560-480 años A.C.). La anulación de sí mismo y la pérdida de la individualidad se consideran virtudes indispensables para alcanzar el perfeccionamiento espiritual; tales postulados convierten lo material en algo decadente, impidiendo todo desarrollo de la ciencia.

Los griegos, los primeros en aplicar normas al pensamiento, se fascinaron cada vez más por la actividad de su propio pensamiento y, atraídos por esa luz, olvidaron el estudio de la naturaleza y se consagraron a la introspección.

Las conquistas de Alejandro dieron lugar a la creación de la espléndida Alejandría, donde tuvo su origen la alquimia. Allí se fundó una escuela donde se pensaba en los metales como una representación de las grandes cosas de la naturaleza. Así el sol, que vivifica toda la naturaleza, engendra el oro-su imagen- en el seno de la tierra; la luna es origen de la plata. El resto de los metales eran obtenidos para formar aleaciones que daban sensación de oro o plata, pues esto era lo importante. Estos alquimistas no conocieron el zinc, ya que no se encuentra como metal nativo, y aún suponiéndose que alguno hubiese calentado una mena de zinc con algún agente reductor, el metal se vaporizaba, oxidaba y se perdía.

La pieza de zinc más antigua que se conoce tiene forma de ídolo y fue hallada de la Dacia prehistórica, poblado de Dordosch, Transilvania. El análisis del ídolo dió:

Zinc .....	87.52 %
Plomo .....	11.41 %
Hierro .....	1.07 %

En las ruinas de Cameros destruida en el año 500 A.C., se encontraron dos brazaletes rellenos de zinc, y en las ruinas de Pompeya destruida en el año 79 de la era cristiana, en el frontis de la fuente, en la parte superior del mismo estaba cubierta de zinc.

Los romanos, ya en el año 200 A.C., conocían perfectamente el latón si bien los griegos no. El latón se preparaba en tiempo de Augusto (año 20 A.C. al 14 de la era cristiana) por fusión de reducción lenta de una retorta de paredes con acreciones zincosas o mineral de zinc, óxido y fragmentos de cobre. En la operación, el óxido de zinc se reducía primero a metal, el vapor de zinc penetraba en el cobre, y entonces se elevaba la temperatura para fundir la carga. La historia del zinc en la Edad Media está unida

a la historia de la alquimia de aquella época. La obtención de latón era bien conocida de los alquimistas, y este conocimiento dio lugar a la creencia de que por el uso del zinc y materiales que contuvieran zinc podía ser posible la transformación del cobre en oro.

Dichas relaciones se obtenían tratando conjuntamente con carbón una mezcla de minerales de los metales a alear o de cobre metálico y óxido de zinc. De la mina Moeresnet (Bélgica), explotada desde la Edad Media, se extraía una variedad impura de la calamina - la moeresnetita - que, mezclada con carbón y cobre por los fabricantes de Dinat, proporcionaba el latón conseguido en las dinanderías que dieron fama a esa ciudad belga en el siglo XII.

En Europa, la palabra "zinck" aparece escrita, por primera vez, en el siglo XV en la obra de Basilio Valentino, pero no hay nada que demuestre que se refería al metal zinc.

El primer escritor que dio el nombre de "zinck" a la forma metálica (de la que proviene el zinc) fue la intrépida figura de Teofrasto Von Hohenheim o Paracelso (1490-1541), doctor suizo, uno de los primeros en romper los lazos de Galeno. Pero no solo eso, sino que fue el primero que efectuó la medicina del trabajo, y ello en la minería. En las minas del Tirol fue donde estudió las condiciones, accidentes y enfermedades anexas a la vida del minero.

Sin embargo, Paracelso no conocía demasiado bien el metal pues le consideraba híbrido o sentimental; incluso lo confundió a veces con el bismuto, pero sabía que era fusible, no maleable en estado normal, y también estaba informado respecto a sus cualidades físicas.

En Asia, Kaswini, llamado el "Plinio de Oriente", que murió en el año 630 a. de J.C., manifestó que los chinos sabían como hacer maleable el metal, con el que acostumbraban a elaborar monedas pequeñas y espejos. En la India, Rana Laksh Singh, uno de los maharajás del Estado de Mewar, fue quizá el primero que trabajó los criaderos de Zavar, hacia el año 1382. La explotación minera y la fundición fueron interrumpidas de tiempo en tiempo a causa de las guerras feudales, de las grandes guerras con la invasión de los emperadores mongoles, y de las guerras Maratha.

Las minas fueron abandonadas hacia 1830 y no volvieron a ser explotadas hasta 1940.

Grandes montones de residuos conteniendo plomo y zinc, escorias y retortas de arcilla de hornos, en la zona de Zavar, dan testimonio de la existencia de una antigua industria de fundición de gran magnitud. No existen referencias escritas sobre esta zona, y las deducciones se basan enteramente en las escorias y demás material allí encontrado.

Las retortas enteras encontradas en las ruinas de Zawar tiene paredes de 1/3 a 1/2 pulgadas de espesor (8.5 a 12.7 mm), son de arcilla vesicular fundida, conteniendo numerosos fragmentos de filita, cuarzo y cuarcita, lo que indica que las retortas fueron hechas con material de los terrenos de aquella zona. Todas las retortas proporcionan evidencia de haber estado sometidas a temperaturas moderadamente elevadas. Debieron de estar colocadas muy próximas unas a otras en el horno, e incluso en contacto, puesto que muchas de ellas estaban fundidas entre si.

La cantidad de residuos de zinc en la zona de Zawar se estima entre 130,000 y 170,000 ton. A juzgar por esta cantidad de residuos, el tonelaje de zinc producido tuvo que ser muy grande:

Durante los siglos XVII y XVIII se importaron del Este grandes cantidades de zinc en lingote o peltre comercial.

Varios fueron los nombres dados al metal, tales como "estaño indio", "calamina", "plata alemana", etc.

A principios del siglo XVII, hacia el año 1620, fue apresado por los daneses un buque portugués que transportaba peltre procedente de las Indias Orientales. Este metal se vendió en París y en otras plazas bajo el nombre de speanter o spialter. El nombre fue latinizado speltrum, del que se derivó peltre, designación comercial del zinc en lingote.

En 1745, un buque de la Compañía de Indias Orientales, procedente de Cantón (China), naufragó cerca de Gotemburgo (Suecia) con bloques de zinc a bordo, cuya composición era:

Zinc .....	98.990%
Hierro.....	0.765%
Antimonio .....	0.245%

sin indicios de cobre, níquel, plata, arsénico ni plomo.

Hacia el año 1730 se llevó a Inglaterra, procedente de China, el procedimiento para la fundición de zinc, obteniéndose en 1739 la patente. Entre 1740 y 1743 se construyó en Bristol (Inglaterra) una fundición que fue el principio de la fabricación de peltre. Se habló entonces de una producción de 200 toneladas anuales. El procedimiento de destilación empleaba una mezcla de mineral y carbón de leña en una retorta de arcilla cerrada, de cuyo fondo salía un tubo que permitía que el vapor de zinc se condensase en él, cayendo el metal en un depósito receptor.

Hasta 1758 fueron empleados como minerales óxidos de zinc, pero en dicho año se obtuvo una patente para obtener zinc de la blenda, mediante el tostado del mineral, mezclándolo tostado con

carbón de leña y fundiendo la mezcla.

La base del procedimiento actual de tratamiento fue inventada por el abate Daniel Dony, químico liejense, a quien Napoleón I había otorgado la concesión de la mina Moresnet, a fin de que se hallara el método de extraer de la calamina el metal aislado. En 1805 se mejoró el procedimiento; el gas y el vapor salían por la parte alta de la carga, en vez de por el fondo, como en el prototipo británico, pero pasando a través de un condensador y cayendo el peltre a un receptor de que había de ser refundido.

También hacia fines del siglo XVIII se construyó en Corintia un horno de zinc, el cual aportaba algunas ideas originales, utilizando tubos verticales para la destilación.

Estos tubos tenían 40 pulgadas (1m) de alto y unas 4 pulgadas (10cm) de diámetro; su capacidad de carga era pequeña, y el horno de Corintia no duró mucho tiempo. Aportó, sin embargo, la idea de la retortas colocadas verticalmente y calentadas a su alrededor.

A principios del siglo XIX, el invento belga del procedimiento de destilación de zinc fue perfeccionado mediante la adición de un depósito. Sin embargo, ello no tiene relación con lo que más tarde fue conocido como el "horno belga".

## 1.2 PROPIEDADES FISICAS

### PLOMO

El plomo tiene aspecto metálico, azulado brillante, que se torna gris opaco por una larga exposición al aire, su número atómico es 82.0, es un metal maleable, plástico y fácilmente fusible; funde a 327.4°C; su densidad es de 11.34 g/cm. Suele presentar dos números de oxidación: +4 y +2; en ambos estados tiene características metálicas que son, sin embargo, más acentuadas en el Pb, tiene una dureza en la escala de Mohs de 1.5, su calor de fusión es de 5.1 KJ/MOL ATOMS, su conductividad térmica es 0.083 cal., su conductividad eléctrica (Copper = 100) 7.82, su dureza brinell es 4.

### ZINC

El zinc es un metal brillante, con reflejos azulados, que pierde casi inmediatamente este aspecto si se expone al aire, por formarse una pátina superficial de hidróxido que le confiere una apariencia grisácea. El zinc puro es dúctil y maleable, pero pequeñas cantidades de otros metales pueden hacerlo frágil. Su número atómico es 30.0, funde a 419°C y hierve a 907°C. Su densidad es de 7.13 g/cm; buen conductor del calor y de la



corriente eléctrica, tiene una dureza en la escala de Mohs de 2.5, su punto de fusión es de 692.8 K, su punto de ebullición es de 1180.0 K, su calor de fusión es 6.7 KJ/MOL, su calor de vaporización de 115.0 KJ/MOL, su conductividad térmica es 116.00 J/M sec deg y su conductividad 169.0.

### 1.3. PROPIEDADES QUIMICAS

#### 1.3.1. PLOMO

Pertenece al Grupo IV, Subgrupo A de la Tabla Periódica de los elementos. Es un elemento de color bronce azulado, con brillo metálico en las superficies recién cortadas; al contacto con el aire se empaña con rapidez y toma un color azul grisáceo. Al fundir el plomo en contacto del aire se endurece a causa de la formación de óxido que se disuelve en el metal; igual endurecimiento provocan el azufre, arsénico, antimonio y cobre, así como el sulfuro de hierro. En el aire seco no se altera pero en contacto con la humedad pierde su brillo y se recubre de una delgada capa gris de protóxido  $Pb_2O$ ; fundido en contacto con el aire, esta oxidación es más rápida; se convierte primeramente en un polvo de color gris amarillento, llamado ceniza de plomo, que es una mezcla de protóxido y óxido plúmbico,  $PbO$ , la cual se transforma completamente en este último óxido, llamado litargirio, si continúa el calentamiento.

El agua destilada y privada de aire no altera el plomo, pero si tiene pequeñas cantidades de aire disuelto, y sobre todo si el plomo está finamente dividido se convierte lentamente en hidróxido de plomo,  $Pb(OH)_2$ , que se disuelve parcialmente en el agua y la convierte en venenosa; lo mismo ocurre, aunque en menor proporción, con las aguas de lluvia y las aguas que contienen pocas sales disueltas. Pero si el agua está bien aireada, y por tanto contiene algo de anhídrido carbónico disuelto, o bien en ella existen pequeñas cantidades de sales, como carbonatos, cloruros y sulfatos, tal como ocurre en las aguas potables, lo ataca al principio y forma luego con el plomo sales insolubles de este metal que impiden su ulterior oxidación y la disolución de plomo en las mismas, como ocurre en las cañerías, sobre todo si están llenas de agua. No obstante, si la cantidad de anhídrido carbónico disuelta en el agua es grande o ésta contiene sales en exceso, especialmente nitratos así como grandes cantidades de material orgánico, se disuelve también parte del plomo de las cañerías por donde circula; en este caso, dicho fenómeno tampoco se evita por completo en los tubos que interiormente están plomados o estañados.

Los ácidos clorhídrico y sulfúrico, aún en caliente, atacan poco al plomo porque el cloruro y sulfato que forman

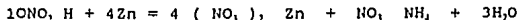
respectivamente, impiden por solubilidad la formación de nuevas cantidades de sales de plomo; pero si este elemento es químicamente puro y se encuentra en pequeñas cantidades de otros metales; o si está finamente dividido, el ataque es mucho más fácil y con ciertos ácidos, como el acético. Y la presencia del aire favorece la disolución. El ácido que mejor disuelve el plomo es el ácido nítrico, que lo convierte en nitrato, y el petróleo, las grasas, los aceites y esencias, especialmente cuando están resinificadas, disuelven fácilmente el plomo en contacto de un exceso de aire.

El plomo se reduce fácilmente de sus minerales. El mineral principal es la galena  $PbS$  (d. 7.5), con un lustre brillante. Por lo general está asociada con blenda y ganga ( cuarzo, calcita, fluorita y barita ) y contiene usualmente 0.01 - 0.1% de plata. Los óxidos:  $PbO$  ocre de plomo y  $Pb_2O_3$ , platerita, son raros; el carbonato  $PbCO_3$ , cerusita, el clorofosfato  $3PbCl_2 \cdot P_2O_5$ , piromorfita, el sulfato  $PbSO_4$ , anglesita, el sulfatocarbonato plomogilita  $3PbCO_3 \cdot PbSO_4$ , y el sulfato básico lanarquita  $PbSO_4$ , son menos abundantes que la galena.

### 1.3.2. ZINC.

Pertenece al Grupo IIb de la Tabla Periódica de los elementos, es un elemento de aspecto metálico y color blanco azulado, con intenso brillo, pero se empaña rápidamente en contacto del aire húmedo a causa de recubrirse de una capa de hidróxido o carbonato, la que a su vez le hace resistente a los efectos del aire o agua. Cristaliza en el sistema hexagonal.

El zinc se combina con la mayor parte de los elementos negativos y forma aleaciones con diferentes elementos metálicos los ácidos hidrácidos y el ácido sulfúrico producen sales y desprenden hidrógeno; en cambio con el ácido nítrico actúa como reductor, forma parte de nitrato amónico y agua, según lo siguiente:



El zinc completamente puro no se disuelve fácilmente en los ácidos; como la solubilidad se favorece cuando contiene pequeñas cantidades de impurezas, como hierro, cadmio, cobre, arsénico y antimonio, mientras que la presencia de plomo lo hace más difícilmente atacable.

El polvo de zinc descompone el agua en frío, aunque, con lentitud, pero a la ebullición el ataque es rápido y se desprende hidrógeno para la formación de hidrato de zinc.



La disolución alcalina ataca al zinc también con desprendimiento de hidrógeno y formación de zincatos; también las disoluciones de algunas sales alcalinas, como los cloruros de sodio y potasio, los sulfatos de estos elementos, etc., forman con el zinc sales dobles, por cuya razón no puede tenerse dicho elemento en contacto con aguas marinas, que lo disolverían rápidamente.

El carbonato de zinc  $\text{ZnCO}_3$  se presenta como calamina (smithsonita); el silicato anhidro  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$  es la willemita; el silicato hidratado  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  es calamina eléctrica o hemimórfica. El óxido  $\text{ZnO}$  es cincita, pero la ferrita  $\text{Zn}(\text{FeO})_2$  forma el depósito de franklinita.

#### 1.4 PROPIEDADES MINERALOGICAS

Los minerales de plomo se presentan en la naturaleza en todos los grupos químicos, pero los más comunes se restringen a los siguientes: sulfuros, sulfatos, sulfosales, óxidos, carbonatos y fosfatos.

Se presentan en casi todos los sistemas cristalinos y predominando los de lustre metálico; al observar su dureza se nota que se ubican en un rango que va del 2.5 a 3.5 en la escala de Mohs, para el peso específico se tiene que la mayoría de ellos cae dentro del intervalo de 5.5 a 7.0.

Los minerales más importantes son la galena y la bornita como primarios; como secundarios la piromorfita, cerusita y anglesita que son supergénicos. En la tabla No. 1 se presentan de forma resumida las características físicas de estos minerales.

Los minerales de zinc se encuentran en la naturaleza en todos los grupos químicos, aunque los más comunes e importantes se encuentran en los siguientes: sulfuros, sulfosales, carbonatos, sulfatos y fosfatos. Se presentan en todos los sistemas cristalinos; el rango de dureza en que se agrupan la mayoría es de 3.5 a 4.5 en la escala de Mohs. Y el peso específico dentro del intervalo de 3.9 a 5.

El mineral de mena más importante del zinc es la esfalerita aunque hay yacimientos donde se beneficia la franklinita, la smithsonita, la willemita y como una mena menor la hemimorfita. En la tabla No. 2 se enumeran las propiedades físicas de los minerales más comunes de zinc.

Todos los minerales que son menas importantes de plomo y de

TABLA No. 1 MINERALES MAS COMUNES DE PLOMO

QUIMICO	NOMBRE FORMULA	SISTEMA	COLOR	RAYA	LUSTRE	DUREZA	PESO ESPECIFICO	FRACTURA	OCCURRENCIA EN MEXICO
ELEMENTO NATIVO	PLOMO Pb	ISOMETRICO	PLATEADO AZULOSO BLANCO A GRIS AZULOSO		METALICO BRILLANTE OPACO		11.37		VER., IGO., CHIH., AGS., GTO., S.L.P., ZAC.
SULFURO	GALENA PbS	ISOMETRICO	NEGRO, GRIS PLOMO	GRIS PLOMIZO	METALICO OPACO	2.5	7.4 A 7.61		CHIH., SON., IGO., S.L.P., DGO., ZAC., MOR., AGS., B.C., COAH., CHIS., GTO., GRO., EM., N., OAX.
CARBONATO	CERUSITA PbCO <sub>3</sub>	ORTORROMBICO	BLANCO, GRIS, NEGRO GRISA- CEO.	INCOLORA	ADAMANTINO A CEROSO, RESINOSO, PERIADO.	3 A 3.5	6.5 A 6.55	CONCOIDEA	TAMP., ICS., IGO., DGO., ZAC., COAH., CHIH., GRO., JALIS., B.M., N., NAY.
CHROMATO	COCROFITA PbCrO <sub>4</sub>	MONOCLINICO	VARIOS TONOS DE ROJO JACINTO	AMARILLO ANARANJADA	ADAMANTINO TRASLUCIDO	2.5 A 3	5.99 A 6.06		JALISCO SONORA ZACATECAS ESTADO DE MEX.
SULFATO	ANGLESITA PbSO <sub>4</sub>	ORTORROMBICO	INCOLORO A BLANCO VERDE, AZUL AMARILLO, NEGRO.	INCOLORA	ADAMANTINO RESINOSO A VECES VITREO TRASPARENTE A TRASLUCIDO	3	6.2 A 6.4	CONCOIDEA	DGO., CHIH., ICS., HID., JALIS., EM., OAX., S.L.P., SON., ZAC., GRO., CHIH.
MOLIDATO	WULFENITA PbMoO <sub>4</sub>	TETRAGONAL	ROJO ANARANJADO CLARO	BLANCA	RESINOSO ADAMANTINO TRANSPARENTE A TRASLUCIDO	3	6.8	CONCOIDEA	CHIH., S.L.P., SIN., ZAC., DGO., SON., GRO., IGO., MOR.
SULFOSAL.	BORNONITA PbS · Sb <sub>2</sub> ·Ca	ORTORROMBICO	GRIS ACERO GRIS DE PLOMO NEGRUSCO	GRIS ACERO GRIS DE PLOMO NEGRUSCO	METALICO OPACO	2.5 A 3	5.83 A 5.9	IRREGULAR	HIDALGO BAJA CAL., SUR DURANGO GUANAJUATO CHIHUAHUA
VANADATO	VANADINITA Pb <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	HEXAGONAL	ROJO RUBI ROJO NARANJA ROJO PARDO	BLANCA A BLANCA AMARI- LLENTA	VITREO	3	6.7 A 7.1	CONCOIDEA IRREGULAR	
POSFATO	PIROMORFITA Pb <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> (PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	HEXAGONAL	AMARILLO, VERDE EN VA- RIOS TONOS. CAFE, GRIS, BLANCO.	BLANCA O CAST.	RESINOSO SUBTRANSPA- RENTE	3.5 A 4	6.5 A 7.1	IRREGULAR	DGO., CHIH., ICS., IGO., MOR., S.L.P., ZAC.

TABLA No. 1 MINERALES MAS COMUNES DE PLOMO

QUIMICO	NOMBRE FORMULA	SISTEMA	COLOR	RAYA	LUSTRE	DUREZA	PISO ESTRUCICICO	FRACATURA	OCCURENCIA EN MEXICO
SULFOSAL	JORDANTIA $Pb\ As\ S$ $14\ 8\ 13$	MONOCLINICO	GRIS PLOMO	NEGRA	METALICO	3	6.38 A 6.49		
ARSENATO	MIMETTA $Pb\ Cl\ (AsO_3)_2$	MONOCLINICO PSEUDOEXA- GONAL	VERDE AMARI- LLO, CAFE VA- RIOS TONOS RO- JIZO, ANARAN- JADO, GRISACEO	BLACA O CASI	ADAMANTINO  TRANSPARENTE	3.5	7.0 A 7.2	IRREGULAR	DGO., CHICHIL, GRO., HGO., SIN., ZAC., S.L.P.
SULFATO ANTI- MONURO	ANDORITA $PbAg_2S_5$ $3\ 4$	ORTORROMBICO	GRIS DE ACERO OSCURO	NEGRA	METALICO	3 A 3.5	5.35 A 5.37		COAHUILA
SULFATO ANTI- MONURO	BOLLANGERITA $Pb_2S_6$ $3\ 4\ 11$	MONOCLINICO	GRIS PLOMO AZULOSO	GRISACEA CAFE A CAFE	METALICO OPACO	2.5 A 3	5.98 A 6.23		BAJA CALIF. SUR, GUERRERO DURANGO  OAXACA SONORA
SULFATO ANTI- MONURO	JAMESONITA $Pb_3S_8Fe_4$ $4\ 11\ 6$	MONOCLINICO	GRIS-NEGRO	GRIS-NEGRA	METALICO OPACO	2 A 3	5.5 A 6.0	CONCOIDEA	HGO., S.L.P., VER., SON., E.M., ZAC., MICHI., NAY., DGO., GRO., ORD.
VANADATO OXIDRILLO	DESCLOIZITA $Pb_2Zn_3VO_7 \cdot (OH)_2$	ORTORROMBICO	ROJO CEREZA CAFE ROJIZO, CA- FE, CASTAÑO RO- JIZO, CAFE NE- GRISCO, NEGRO	ANARANJADA ROJO-CAFE O GROS AMARI-  LLENTA	GRASO  TRANSPARENTE  A CASI OPACO	3 A 5	5.9 A 6.2		DGO., ZAC., SON., CHICHIL, GTO., S.L.P., COAH.
SULFATO OXIDRILLO	LINARITA $PbCu_2SO_4(OH)_2$	MONOCLINICO	AZUL OSCURO	AZUL PALIDO	TRASLUCIDO	2.5	5.4		NAYARIT JALISCO SONORA

TABLA No. 2 MINERALES MAS COMUNES DE ZINC

GRUPO QUIMICO	NOMBRE FORMULA	SISTEMA	COLOR	RAYA	LUSTRE	DURIZA	PESO ESPECIFICO	FRAGTURA	OCURRENCIA EN MEXICO
SULFURO	ESPALEHRITA (WENDT) Zn S	ISOMETRICO	GRIS, CAFE, AMARILLO O NEGRO	BLANCA A AMARILLA Y CAFE	RESINOSO A SUBMETALICO, TRANSPARENTE A TRASLUCIDO	3.5 A 4	3.9 A 4.1	CONCOIDEA	SONORA CHIHUAHUA OAXACA ZACATECAS GUERRERO
OXIDO	CINCITA Zn O	HEXAGONAL	ROJO INTENSO A ANARANJADO AMARILLO.	NARANJA AMARILLA	SUBADAMANTINO TRASLUCIDO	4	5.68	CONCOIDEA	
	GAINITA 1/2 Zn AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ISOMETRICO	GRIS	GRISACEA	VITREO TRASLUCIDO	7.5 A 8	4.55		
CARBONATO	SMITHSONITA Zn CO <sub>3</sub>	HEXAGONAL	CAFE, BLANCO GRIS, AZUL ROSA	BLANCA INCOLORO	VITRO A VECES PERLADO TRASLUCIDO	4 A 4.5	4.30 A 4.45	IRREGULAR ASTILLOSA	N.L., COAH., IGG., B.C.N., Y.S., AGS. CHIH., ZAC., S.L.P., GTO., DGO., PUEBLA
SILICATO	WILLERMITA Zn SiO <sub>3</sub>	HEXAGONAL TRIGONAL	BLANCO, CAFE, AMARILLENTO VERDOSO, VERDE MANZANA, ROSA CARNE	BLANCA	VITREO A RESINOSO TRANSPARENTE A TRASLUCIDO	5.5	3.89 A 3.90	IRREGULAR	S.L.P. CHIHUAHUA
OXIDO	FRANKLINITA [Zn, Fe, Mn] Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ISOMETRICO	NEGRO ACERADO	ROJIZA CAFE	METALICO OPACO	6	5.15	CONCOIDEA	
SILICATO HIDRATADO	HEMIMORFITA Zn [SO <sub>4</sub> ](OH) · H <sub>2</sub> O	ORTORROMBICO	BLANCO A VECES CON TONO AZU- LOSO O VERDOSO AMARILLO, CAFE	BLANCA	VITREO SUB- PERLADO, TRANSPARENTE A TRASLUCIDO	4.5 A 5	3.4 A 3.5	IRREGULAR CONCOIDEA	NUEVO LEON JALISCO CHIHUAHUA COAHUILA
SULFOSAL	TETRAEDRITA [Cu, Fe, Zn, Ag] Sb <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	ISOMETRICO	GRIS ACERO OS- CURO, NEGRO HIERRO	MARRON ROJIZA	METALICO OPACO	3 A 4.5	4.6 A 5.1	IRREGULAR	

TABLA No. 2 MINERALES MAS COMUNES DE ZINC

GRUPO QUIMICO	NOMBRE FORMULA	SISTEMA	COLOR	RAYA	LUSTRE	DUREZA	PESO ESPECIFICO	FRACTURA	OCURRENCIA EN MEXICO
SULFOSAL	TENANTITA [Cu,Fe,Zn,Ag] As <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	ISOMETRICO	GRIS BLANQUEADO CON TONOS			3.5 A 4.5		IRREGULAR	
SULFURO	WURTZITA ZnS	HEXAGONAL	GRIS			3.4 A 4	3.98 A 4.1		
ARSENATO CON OXIDRILLO	ADAMITA Zn <sub>3</sub> [AsO <sub>4</sub> ](OH)	ORTORROMBICO	AMARILLO, MIEL, VIOLETA, ROSADO, VERDE INCOLORO	BLANCA	VITREO TRANSPARENTE A TRASLUCIDO		4.34 A 4.35		DURANGO ZACATECAS HIDALGO
MANGANATO HIDRATADO	CAI COPANTA [Zn,Fe,Mn]M <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	TRICLINICO	NEGRO AZULOSO	CAFE CHOCOLATE	METALICO BRILLANTE OPACO		4.0 A 4.1		DURANGO

zinc se hayan en algunos estados de la República Mexicana; como se puede observar en la última columna de las tablas.

### 1.5 PROPIEDADES GEOQUIMICAS

Desde el punto de vista geoquímico, la Tierra es un sistema dinámico en el cual el material es movido de un lugar a otro, cambia de forma y composición por una variedad de procesos que incluyen fusión, cristalización, erosión, disolución, precipitación, evaporización y decaimiento radioactivo. Estos procesos originan las diferencias en composición de los materiales de la corteza terrestre; estas diferencias son estudiadas con métodos analíticos.

Los métodos analíticos comunes para la determinación cuantitativa de plomo en concentraciones traza de rocas y minerales son: Espectrografía óptica, espectrofotometría química (dithizon), fluorescencia de Rayos X, disolución isotópica y absorción atómica. La seguridad de estos métodos es mayor con muestras de tamaño estándar entre decenas y centenas de mg para ppm (fluorescencia de Rayos X y emisión espectrográfica óptica); para concentraciones menores de 100 ppb (absorción atómica, emisión espectrográfica).

Los valores pequeños de contenidos de zinc pueden ser detectados por medio de activación neutrón (promedios de 83.5 a 119.4 ppm), para valores un poco más grandes se utilizan los Rayos X (promedios de 77.5 a 124 ppm); la exactitud de éstos métodos es alta. Hay una mejor apreciación en los métodos de espectrografía y espectrometría óptica incluso absorción atómica; la mayor sensibilidad en los métodos para el zinc son: N/R-neutrón activación, medidas radiométricas; A-Espectrometría de Absorción Atómica; W/C- Métodos químicos/Métodos Colorimétricos, Espectrofotométricos; X- Espectrometría de Rayos X y Espectrometría de Rayos X Fluorescencia; S- Espectrografía de Emisión Óptica o Espectrometría, decreciendo en ese orden (para concentraciones menores de 1 ppm)

Existe una nueva técnica llamada Espectroscopía de Emisión de Plasma (Plasma Emission Spectroscopy - PES). Meyer y Lam ShangLeen en 1973, definen un plasma "como una gran cantidad de gas ionizado en el cual la concentración de electrones y protones están en equilibrio".

Es un método analítico de multi-elementos y con varias ventajas favorables sobre la absorción y emisión espectrográfica, como son una mayor sensibilidad para elementos volátiles particularmente, rangos que son fácilmente determinados para cada elemento, límites bajos de detección, costos bajos para su utilización.



### 1.5.1 PLOMO

Las rocas magmáticas de la corteza superior continental, contiene cerca del 20% de feldespatos potásicos (los más importantes por contener plomo) y un 40% de plagioclasas con un 11 y 12 ppm de Pb respectivamente. Con base en experimentos microscópicos de rocas magmáticas, la galena es un constituyente muy raro de estas rocas; otros autores mencionan que han encontrado galena en las concentraciones de minerales pesados de las rocas magmáticas.

Rocas peridotíticas.- Son pocos los análisis confiables en rocas de esta clase que están disponibles por la baja abundancia de plomo; se reportan  $19 \pm 8$  ppb en dunitas, 93 ppb en lherzolitas, 250 ppb en peridotitas, 21.2 ppm en kimberlitas; por el amplio rango de concentración de plomo en rocas ultramáficas no es posible dar un promedio razonable.

Rocas gabbroicas y basálticas.- Por sus propiedades, el plomo acumulado en magmas máficos a partir de fusión parcial de rocas gabbroicas, 3.7 ppm en basaltos toleíticos, 4.3 ppm basaltos alcalinos de olivino. El origen del plomo en rocas máficas magmáticas puede ser derivado de datos isotópicos del plomo, ello muestra, por ejemplo que las islas volcánicas contienen más plomo radiogénico que los basaltos abisales y dada la evidencia, que el manto pueda tener en los varios estados de su historia de fusión parcial.

Dioritas y andesitas.- A partir de datos de análisis espectrográficos se reportan como promedios en andesitas 5.8 ppm de Pb, para dioritas 6 ppm de Pb.

Rocas alcalinas (incluye monzonitas, sienitas y traquitas).- Las rocas alcalinas son raras y relativamente variables en cuanto a su composición modal así como en su contenido de plomo, para sienitas nefelínicas 14.4 ppm y para fonolitas 14.8 ppm de Pb.

Rocas graníticas y efusivas relacionadas.- La abundancia de plomo en intrusivos graníticos es principalmente controlada por su contenido de feldespatos potásicos que es de un 30% lo que significa concentraciones de plomo en 50 ppm, las granodioritas y dioritas de cuarzo (tonalita) contienen menos del 30% de feldespato potásico lo que da en promedio 20 ppm de Pb. Unos estudios en Japón reportan: 11.7 ppm en granodioritas, 19.6 ppm para granitos, 15.2 ppm para dacitas, 15.2 ppm para riolitas y 24 ppm para obsidiana.

El plomo derivado del intemperismo de rocas magmáticas y metamórficas está contenido principalmente en sedimentos detríticos; algo de plomo puede ser transportado por ambientes

sedimentarios y absorbidos por materiales arcillosos y óxidos de hierro férrico, etc.

Arenas y areniscas.- El plomo en rocas psamíticas frecuentemente se incrementa con la disminución del contenido de cuarzo; 10 ppm de Pb para arenas y areniscas, para grauvacas en particular, el contenido es más alto.

Pelitas.- Estas rocas sedimentarias contienen las más altas proporciones de plomo en los sedimentos; en arcillas y lutitas difiere por continentes y por edad. Un gran promedio, que no incluye Sudáfrica, es de 21.6 ppm, si se incluye, es de 23.3 ppm de Pb. Las concentraciones monominerálicas de minerales arcillosos frecuentemente contienen plomo en el mismo rango que las arcillas y lutitas, para montmorillonitas es de 15 a 34 ppm de Pb, illitas 15 a 25 ppm y caolinitas 23 a 53 ppm de Pb.

Rocas bituminosas arcillosas.- El promedio para este tipo de rocas es de 23.8 ppm de Pb, y varía para casos específicos en cuanto a su edad y el continente en que se encuentra.

Sedimentos pelágicos.- Se reporta un promedio de 1000 ppm de Pb para nódulos de mar profundo; varía con respecto al océano donde fueron colectados; los nódulos del Océano Atlántico (1300 ppm de Pb), son mayores que los del Océano Pacífico (880 ppm de Pb) y del Océano Índico (970 ppm de Pb). Para investigaciones posteriores se muestra que es probable que el plomo con fracciones de óxido de hierro férrico de nódulos ferromagnesianos. Estas arcillas acumulan varios elementos tales como Cu, Mn, Ni, Co, Pb, Sb, Mo, Zn, etc., por lo que además se pueden encontrar concentraciones adicionales de estos elementos.

Rocas carbonatadas.- Las calizas y dolomías son bajas en plomo; la calcita y dolomita no pueden incorporar concentraciones apreciables porque el agua de mar y el agua intersticial contiene muy poco plomo. Un promedio para rocas carbonatadas es de 5 ppm de Pb.

Evaporitas.- Se han analizado varias halitas de depósitos marinos pérmicos y los resultados presentan un promedio de 180 ppb. Si el agua de mar con su concentración de 0.04 ppb de Pb fuera completamente evaporada, correspondería a 2 ppb de Pb en Na Cl.

Carbón y Aceite.- Después de la degradación de plantas y pancton algunas proporciones de estos residuos pueden ser acumuladas en sedimentos donde se preserva algo de su plomo original; el plomo secundario en solución puede ser atrapado por absorción, reacciones de descomposición y precipitación de sulfuros. La mayoría de los carbones contienen cerca de 10 ppm de Pb.

Por las propiedades químicas del cristal, el plomo en rocas

matamórficas es incorporado principalmente en mica y feldespato potásico. 50 muestras de escapolitas de gneises y skarn del Grenville Precámbrico contienen un promedio de 45 ppm de Pb.

Los minerales metamórficos son bajos en potasio tales como la estaurolita, granate y clorita, con un contenido mucho menor de 10 ppm de Pb.

Las rocas metamórficas más abundantes son gneises y esquistos; sus valores de plomo son muy complejos y se encuentran dentro de un gran intervalo; un promedio de 3846 muestras de ambas rocas es de 17 ppm de Pb; 142 granulitas contienen en promedio 18.7 ppm de Pb.

Intemperismo y alteración de rocas.- Primeramente el plomo se origina en la estructura de los feldespatos y micas de rocas magmáticas y metamórficas; estos minerales regularmente son resistentes al intemperismo excepto la biotita; algo de plomo movilizado es absorbido y forma parte, nuevamente de minerales arcillosos como caolinita; las concentraciones de plomo en arcilla son de 2 a 6 veces más que en basalto fresco.

La serpentinita fresca contiene 7.5 ppm de Pb, su relación con la acumulación de hierro en lateritas es: 10 etapa 14 ppm de Pb y 10.9% de Fe, O<sub>2</sub>, 20 etapa 20 ppm de Pb y 19.8% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 30 etapa 17 ppm de Pb y 46.7% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

El intemperismo químico de los granitos afecta en primer lugar a la biotita, el granito fresco contiene 22 ppm de Pb y en la diseminación de material arenoso intemperizado es de 6 a 11 ppm de Pb.

Las bauxitas son productos de alteración intensiva de la roca, derivadas de sienitas de nefelina o de rocas con alto contenido de alúmina y poco SiO<sub>2</sub>. La sienita de nefelina contiene 20 ppm de Pb, las bauxitas están en un intervalo mayor de 70 ppm.

### 1.5.2 ZINC

La abundancia del zinc en los diferentes minerales está en función de por lo menos dos parámetros: La concentración del zinc en el magma, rocas premetamórficas, etc., y la capacidad de la estructura cristalina a incorporar este elemento (a una cierta temperatura y presión).

Rocas peridotíticas.- Dos grandes clases de rocas peridotíticas pueden ser distinguidas de acuerdo a la presión en la cual se originaron: peridotitas de granate de +20 Kbars de presión y peridotitas de espinela formadas a presiones -20 Kbars.

La mayoría de los minerales de las peridotitas como el olivino, diópsido y ortopiroxeno contienen zinc en un rango de 40 - 80 ppm. La espinela de cromo (chromium spinels) abundante en las peridotitas reporta 800 ppm de Zn; los granates generalmente contienen mayores cantidades de zinc que el olivino y el piroxeno. Un promedio del zinc en las peridotitas de espinela puede ser de 56 ppm.

Rocas gabbroicas y basálticas.- El zinc en estas rocas está contenido en su fracción de magnetita; un rango para diferentes áreas puede ser de 80 - 120 ppm.

Rocas alcalinas (incluye monzonitas, sienitas y traquitas).- La abundancia de rocas alcalinas generalmente es menor que el total de hierro contenido en rocas basálticas y gabbroicas, pero el promedio de las concentraciones de zinc en estas rocas es menor a 50 ppm (la mitad del promedio del zinc en bazaltos). Esto indica la acumulación de zinc en relación al hierro en el proceso de fusión. Las sienitas tienen un promedio de 70 ppm.

Dioritas, andesitas.- Un promedio de 70 ppm de zinc en 132 muestras de dioritas y andesitas, sin existir una diferencia muy marcada entre ambas.

Rocas graníticas y efusivas relacionadas.- La abundancia de zinc en rocas graníticas está controlada principalmente por el contenido de biotita (y/o anfíboles); las rocas graníticas claras tiene menor concentración de zinc que las variedades oscuras, los promedios varían de 30 a 70 ppm Zn, los promedios para los granitos solamente es de 48 ppm de Zn y para las granodioritas es de 52.4 de Zn.

Debido al comportamiento del zinc durante el intemperismo químico y a su baja solubilidad en agua, el mejor transporte y acumulación en los ambientes sedimentarios es en el material detrítico, apreciables cantidades de zinc, aunque la mayoría de este material es cuarzo, muscovita y feldespatos que son bajos en zinc, la clorita y la magnetita son mejores transportadores; una cantidad apreciable de zinc se transporta en los óxidos de hierro coloides y en óxidos de hierro recubiertos de otros minerales. La distribución del zinc en los diferentes tipos de roca y ambientes puede ser manejada como una disminución proporcional al componente detrítico en el sedimento.

Areniscas.- Las gravuvas contienen grandes cantidades de material químicamente en descomposición, erosionadas de áreas orogénicas; es de esperarse que el mayor contenido de zinc en estas rocas ocurra en la clorita y en los minerales de fierro, por lo que las concentraciones de zinc en las areniscas están en proporción de 10 ppm de Zn por cada porcentaje de  $Fe_2O_3$ .

Tills glacial.- El método geoquímico para estudiar estas rocas es la emisión espectrográfica y da un promedio de 75 ppm de Zn.

Lutitas y arcillas.- Por su alto contenido en minerales de Fe las rocas arcillosas tienen más alto contenido de zinc que las arcosas y las areniscas de cuarzo, pero el mismo rango que las gravuvas. Un promedio general de zinc en rocas arcillosas baja en material bituminoso es de 100 ppm.

Rocas arcillosas bituminosas.- Las concentraciones de zinc relacionadas con los minerales arcillosos y algunos óxidos adicionados con zinc es de esperarse que sean acumulados en sedimentos con grandes cantidades de carbón fijo por la materia orgánica degradada por sulfuros y fosfatos; sin embargo, el zinc relacionado con los óxidos de Fe puede ser más bajo en este tipo de rocas por la reducción y movilización del Fe y precipitación como sulfuros. Es más alto el contenido de zinc en sedimentos bituminosos que en sedimentos arcillosos "normales" y pueden estar contenidas en su fracción fosforita en un intervalo de 10 a 750 ppm de Zn.

Sedimentos pelágicos.- El zinc tiene una ligera tendencia a concentraciones más altas en arcillas pelágicas que en lutitas y que pueden ser explicadas por movilización diagenética en regiones continentales o por magmatismo; en estos sedimentos se tiene un intervalo de 130 a 150 ppm de Zn que es cerca de un 40% más alto que en lutitas.

Rocas carbonatadas.- Las calizas contienen frecuentemente de 10 a 50% de residuos de arcilla y limo; si éstas últimas tienen un promedio de 100 ppm de Zn, podrían contribuir con un 10 o 15% de fracción arcillosa.

Sedimentos evaporíticos.- Si el agua de mar con su 2 a 4 ppb de Zn es completamente evaporada, cerca de 0.1 ppm de Zn como máximo en halita, si este es un producto primario del ciclo de evaporación. El porqué de estos valores bajos de zinc en halita puede ser fácilmente sobreestimado si las muestras se contaminan con materia detrítica.

Carbón.- De los productos degradados, en su mayoría plantas, se espera que tengan un promedio de decenas ppm de Zn, si la concentración original de zinc en las plantas es preservada durante la diagénesis. El carbón frecuentemente contiene concentraciones de zinc en un intervalo de 50 a 150 ppm; la diagénesis y alteración de materia orgánica (plantas) en carbón podría concentrar este elemento si el sistema fuera cerrado en un factor de 3 a 10, si el factor fuera 3 podría tener de 15 a 50 ppm de Zn.

Debido al comportamiento químico del cristal, el zinc en rocas metamórficas es principalmente incorporado en Fe ferroso, silicatos de magnesio y óxidos como biotita, fengita, clorita, anfíboles, estauroлита, granate y magnetita, la esfalerita puede ocurrir localmente en menores concentraciones. Hay un número limitado de análisis de zinc en rocas metamórficas, por su

carácter semicuantitativo. Las serpentinas contienen concentraciones de zinc comparable a las peridotitas, mientras que el zinc en eclogitas y anfibolitas es tanto como en los basaltos y los gabros.

Las areniscas y las calizas son más bajos en zinc que las grauvacas y las lutitas, esta diferencia es visible en cuarcitas y mármoles en comparación con filitas, esquistos de mica y gneises.

La mayoría de esquistos de mica y gneises contienen zinc en concentraciones de 65 ppm.

Intemperismo y alteración de rocas.- El comportamiento del zinc durante el intemperismo de basaltos alcalinos de olivino, presenta diferentes etapas de alteración y son indicadas por una secuencia de descomposición mineral: olivino, piroxeno, plagioclasa en minerales del grupo de la caolinita y montmorillonita y en óxidos de hierro, en general, las concentraciones de zinc se incrementan relativamente con el incremento de la descomposición.

La acumulación de zinc en ambientes sedimentarios originados primeramente de intemperismo químico de rocas magmáticas y metamórficas y probablemente adicionando el desgaste de las capas superiores de la Tierra.

CONCENTRACIONES DE PLOMO EN LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCA

TIPO DE ROCA	CONCENTRACION (ppb)	LOCALIDAD	METODO	# MUESTRAS ANALIZADAS
<b>ROCAS IGNEAS</b>				
Dunitas	19+ - 8 ppb	Twin Sisters	N/R	
Lherzolitas	83 ppb	Western Victoria, Australia	W/C. I	17
Peridotitas	250 ppb	USA, Islas Canarias	W/I	5
Kimberlitas	21.1	Kimberly	W/A, I	2
Gabros	2.7	USA, Japón, Inglaterra, Italia Alemania.	A. Espectrográ	10
B. Tolefíticos	3.7	USA, Canadá, O. Pacífico, Japón, India.	*	93
B. Alcal. de olivino	4.3	Japón, USA, Australia, O. Indico, O. Atlántico, Azores, I. Canarias.	*	95
Andesita	5.8	Inglaterra, Alemania USA, O. Atlántico, Japón, O. Pacífico, Rusia, Yugoslavia, Rumania Grecia.		79
Diorita	6.7			
Sienitas Nefelínicas	14.4			
Fonolitas	14.8	Japón		64
Granodioritas	11.7	Japón		37
Granitos	19.6	Japón		160
Dacitas	15.2	Japón		102
Riolitas	15.2	Japón		74
Obsidiana	24	Japón		145
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>				
Arenas y areniscas	10	USA, Japón, Corea, Venezuela, Alemania.	S. W/C. A	924
Grauvacas	> 10	Alemania, USA.	A.I.	23
Arcillas y Lutitas	21.6	Japón, Corea, Venezuela, Europa (paleozoico), R.D.A. (Triásico Tardío), Rumania (Terciario) Op. Cit. Sudáfrica		179
Montmorillonitas				184
Illitas	15-34			3
Caolinitas	15-25 23-53 23.8			2
Arcillas Bituminosas	1300	O. Atlántico		4
Sed. pelágicos (nódulos)	880 970	O. Pacífico O. Indico		209
Rocas carbonatadas	5 180 ppb			54
Evaporitas		Alemania, Australia, USA.	S. W/C. I	3.10 ton.
Carbón y aceite	10			
Bauxitas	< 70	Arkansas		
<b>ROCAS METAMORFICAS</b>				
Escapolitas	45	Grenville Precámbrico	S	50
Estaurolita, granate, clonita	< 10	Inglaterra	X	
Gnaises y Esquistos	17	Australia, Canadá, USA, Japón, SW Africa	X, S, I.	3848
Granulitas	18.7	Australia, Inglaterra	X, I. A	
Serpentina	7.5			
Filitas	23			
Eclogitas	Ten bajo como las rocas basálticas			

donde:

N/R - Neutrón activación, medidas radiométricas.

W/C - Métodos químicos/métodos colorimétricos, espectrométricos.

I - Disolución Isotópica, medidas masa - espectrométrica.

S - Espectrografía de emisión óptica o espectrometría.

A - Espectrografía de absorción atómica.

X - Espectrografía de rayos X y espectrometría de fluorescencia de rayos X.

P - Métodos polarográficos.

Fuente: Wedepohl, K. H., 1978.



**CONCENTRACIONES DE ZINC EN LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCA**

TIPO DE ROCA	CONCENTRACION (ppm)	LOCALIDAD	METODO	# MUESTRAS ANALIZADAS
<b>ROCAS IGNEAS</b>				
Peridotitas de granate	40.8 56	Sudáfrica, USA., Alemania., Hawaii, Italia, Japón	A, N/R, S, X, W/C	
Peridotitas de espinela Grabos y Basaltos	80-120	Japón, USA, URSS, Canadá, Corea, Manchuria, Tasmania, Hawaii, Africa India, Etiopia, Alemania	W/C, X, S, P, A, N/R	
Rocas Alcalinas	< 50	Japón, Urss, Alemania, Etopla, Italia	W/C, X	120
Sienitas	70	Corea, Japón, URSS.	W/C	77
Dioritas y Andesitas	70	USA, Canadá, Alemania, URSS Japón, Rumania, Grecia	W/C, X, N/R, S	132
Granitos	48	USA, Canadá, Japón, India, Nigeria, Alemania, Suiza, Francia	N/R, W/C, X, S, P	482
Granodioritas	52.4	URSS, USA, Canadá, Japón, Alemania, Italia, Rumania	W/C, N/R, X, S,	624
Riolitas	15-400	USA, Japón, Inglaterra, Etiopia, Nigeria, Canadá	W/C, X, P,	30
Obsidiana	135	USA, URSS, Islandia, Italia	A, X, P	161
Dacitas	62	Japón, USA, Rumania	W/C	16
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>				
Areniscas	10% Fe O <sub>2</sub> 3	Alemania	X	32
Grauvacas	94	Alemania	X	41
Tills glacial	75	Canadá	Em. Espec.	1475
Rocas arcillosas	100	Alemania, España, Polonia, Japón USA, Australia	W/C, X,	198
Rocas arcillosas bituminosas	10-750	Mar Báltico, Suecia, Noruega, USA, Alemania, Sudáfrica	S, A, X, W/C	983
Sed. pelágicos	130-150	O. Atlántico, O. Pacífico, Golfo de México	X, S, W/C, A	
Calizas	10-15	Alemania, USA, Rumania	X, W/C	73
Yesos	21	Dinamarca	A	
Dolomita	34	Alemania, Rumania	X, W/C	78
Halita	0.1	URSS, USA, Alemania	W/S, S	
Carbón	50-150	USA, Alemania	S	
Bauxitas	243	Sur de Europa		
<b>ROCAS METAMORFICAS</b>				
Serpentinas	60	Alemania, Suiza, Japón, Canadá	X, W/C	7
Eclogitas	98	Alemania, Sudáfrica, Brasil	X, A,	20
Anfibolitas	125	Noruega, Inglaterra, USA, Austria, Japón, Alemania, Canadá	A, X, C, S, W/C	57
Cuarcitas	23	Alemania	X	
Mármoles	< 6-12	Austria, Yugoslavia	X	4
Filitas	40	Suiza	X	4
Esquistos de mica	65	Suiza, Austria, Francia, USA	X, S,	25
Gnaises	65	Suiza, Francia, Austria, Alemania	X, S, A	28

donde:

N/R - Neutrón activación, medidas radiométricas.

W/C - Métodos químicos/métodos colorimétricos, espectrométricos.

I - Disolución isotópica, medidas masa - espectométrica.

S - Espectrografía de emisión óptica o espectrometría.

A - Espectrografía de absorción atómica.

X - Espectrografía de rayos X y espectrometría de fluorescencia de rayos X.

P - Métodos polarográficos.

Fuente: Wedepohl, K. H., 1978.

## 1.6 BIBLIOGRAFIA

- Geyne, A.R. ;Carl Fries, Jr.; Kenneth Segerstrom; Black, R. F.; Wilson, I. F., 1963. Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca Real del Monte, Estado de Hidalgo, México. Public. SE del CRNNR.
- Dana E.; Harlburt, Cornelius S., Jr., 1987. Physical proppities of minerals. Ed. Reverté. España
- Franre Brescia; Stanley Mehlman, 1985. Química. Ed. Interamericana.
- Krauns, E.H., et. al., 1965. Mineralogía. 5a. Edición. México. Graw Hill. 1965
- Rose, Arthur W.; Hawkes E. and Webb John S., 1979. Geochemistry in Mineral Exploration. Segunda edition. Academia Press.
- Rye, Robert O.; Hall, Wayne E. y Hiroshi Ohmoto, 1974. Carbon, Hidrogen, Oxigen and Sulfur Isotope Study of the Darwin Lead-Silver-Zinc Deposits, Southern California. Economic Geology, Vol. 69, No. 4.
- Wedepohl, K. H. 1978. Handbook of Geochemistry. Germany. Vol. II-3 y II-5.

## **CAPITULO 2. Clasificación de los Yacimientos de Plomo-Zinc**

- 2.1 Clasificación de Schneiderhon (1941)
- 2.2 Clasificación de Niggli (1929)
- 2.3 Clasificación de Charles Meyer (1981)
- 2.4 Clasificación de Jensen Bateman (1979)
- 2.5 Clasificación de Blondel (1951)
- 2.6 Clasificación de Routhier (1963)
- 2.7 Clasificación propuesta
- 2.8 Bibliografía

## 2. CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS DE Pb-Zn

El propósito de una clasificación es reunir las características de cada elemento, señalar las similitudes y diferencias con otras, agruparlos cuando tienen rasgos similares y al mismo tiempo facilitar su descripción. En el caso de los yacimientos minerales una buena clasificación permitirá determinar al yacimiento mineral en todos sus aspectos, y así orientar la prospección.

A continuación se mencionan las clasificaciones de yacimientos de Pb-Zn propuestas por algunos autores. <sup>(1)</sup>

### 2.1 SCHNEIDERHOHN (1941)

Clasificar los depósitos minerales de acuerdo a:

- 1.- La naturaleza del fluido mineral
- 2.- Asociación mineralógica
- 3.- Distinción entre los depósitos profundos y los cercanos a la superficie.
- 4.- Los minerales de ganga.

De acuerdo a lo anterior Schneiderhohn (1941) clasifica a los yacimientos como:

- A. Asociación de Au-Ag
- B. Asociación de piritita o cobre
- C. Asociación de plomo-plata-zinc
- D. Asociación de plata-cobre-niquel-bismuto-uranio
- E. Asociación de estaño-plata-tungsteno-bismuto
- F. Asociación de antimonio-mercurio-arsénico-selenio
- G. Asociación no sulfúrica
- H. Asociación no metálica

1) En todos los casos, se respetará la nomenclatura, a pesar de la incongruencia de ciertas palabras como; epitermal, hipotermal, etc.

## 2.2 NIGGLI (1929)

Los yacimientos Pb-Zn los clasifica dentro de los hidrotermales, neumatolíticos, pegmatíticos y un subgrupo ortomagmático. Según, si la formación de los minerales proviene de líquidos, gases o de cristalización directa del magma.

### Hidrotermal

- 1.- Hierro-cobre-oro-arsénico
- 2.- Plomo-zinc-plata
- 3.- Niquel-cobalto-arsénico-plata
- 4.- Carbonatos-óxidos-sulfatos-fluoruro

## 2.2 CHARLES MEYER (1981)

Para Meyer los depósitos minerales de Pb-Zn son de tipo sedimentario y los compara con depósitos tipo Mississippi Valley.

### Minerales sedimentarios

- Depósitos sedimentarios de sulfuros
- Cobre en sales y caliza
- Plomo-zinc en sedimentos clásticos
- Tipo Mississippi Valley

## 2.4 JENSEN BATEMAN (1979)

Las principales clases que predominan en los depósitos de plomo y un poco de zinc, y algunos ejemplos de cada uno:

- 1.- Depósitos estratiformes de origen singenético Kuperchiefer, Alemania; Dzhazkazgan, Kazakhsan, URSS.
- 2.- Depósitos estratiformes de origen epigenético, SE del Missouri; Tristate; el Alto del Valle del Mississippi; Pine Point, Territorio Noroeste de Canadá, depósitos de plomo Alpino, Kuperchiefer, Laisvall, Suecia; Silesia, Cracovia, Polonia; y muchos otros.
- 3.- Depósitos Volcanosedimentarios; Kuroko, Japón; Atasu y Achisai, Kazakhsan, URSS; Bathurst New Brunswick, Canadá; etc.
- 4.- Depósitos de reemplazamiento. Cerro de Pasco, Perú; Tintic, Utah; Bingham, Utah; Gilmany Leadville, Colorado; Centro de México; Sardinia, Italia.
- 5.- Vetas. Coeur d'Alene, Idaho; Harz Mountains, Alemania; Santa Bárbara, Chihuahua; Fresnillo, Zacatecas y Taxco,

Guerrero en México.

- 6.- Depósitos pirometasomáticos de contacto. Kamioka, Obori, Chichibu y Nakatutsu, Japón; Tetyukhi y Siberia, URSS.

La mayoría del Pb y Zn ocurre en cavidades y filones formando reemplazamientos con baja temperatura en soluciones hidrotermales. Su ocurrencia predomina en dolomitas y limolitas. Considerando las diferentes opiniones que existen en el pasado de muchos depósitos de plomo-zinc en limolitas. Semejante a las del distrito de Tri-State. Son comunes tres opiniones.

- (1) Solución connata
- (2) Agua meteórica artesiana ascendente
- (3) Soluciones hidrotermales de origen ígneo

#### 2.5 BLONDEL (1951)

Propone a los yacimientos por medio de tipos que define como:

"El conjunto de datos empíricos observados y las analogías intuitivas que el prospector y el minero pueden reconocer".

##### SERIE HIPABISAL

Asociación mesotermal cuarzo-pirita-plomo  
Verdaderos filones de cuarzo mesotermal con minerales de plata y galena  
Asociación mesotermal de plomo-carbonatos  
Asociación mesotermal plomo-fluorita-barita  
Yacimientos de reemplazamiento mesotermal plomo-zinc-plata  
Yacimientos metasomáticos teletermales de plomo-zinc

##### SERIE SUB-VOLCANICA

Yacimientos meso a epitermal de plomo-zinc-plata

#### 2.6 PIERRE ROUTHIER (1963)

Dentro de las rocas sedimentarias sin relación visible con plutones; predominantemente estratiformes.

1.- Tipo de formaciones conglomeráticas y arenosas, a veces areniscas rojas o capas rojas. Plomo dominante.

2.- Dentro de formaciones carbonatadas cuerpos estratiformes dominantes o muy frecuentes. Zinc muchas veces dominante.

- a) En coberturas tabulares afalladas
- b) En zonas plegadas y muy fracturadas

3.- Tipo arcillas más o menos bituminosas, más o menos carbonatadas e igualmente cupríferas. (Kupferschiefer)

4.- Tipo de vetas dentro de coberturas. Vetas y depósitos estratiformes que pueden estar asociados.

Asociación a plutones graníticos, a menudo monzoníticos.

#### I. Intraplutónico

5.- Tipo vetas al interior de los granitos

#### II.- Periplutónicas

6.- Tipo principalmente en vetas que rellena fracturas; algunas veces en chimeneas. Las rocas encajonantes son muy variables, frecuentemente carbonatadas.

Paso  
Gradual



7.- Tipo cuerpos irregulares dominantes en rocas carbonatadas dentro de la zona pirometasomática o alrededor (con cobre en la zona pirometasomática).

Asociación de rocas volcánicas o subvolcánicas.

8.- Tipo filones de lavas o de tobas, en general ácidas (riolita, traquita, dacita, andesita, post-orogénico)

9.- Tipo de cuerpos irregulares calcáreos o contacto con chimeneas volcánicas (dacitas, traqui-andesitas, andesitas)

10.- Tipo asociación con lavas ácidas e intermedias, o tobas, de la fase geosinclinal.

11.- Tipo asociación de rocas básicas, subvolcánicas (doleritas) o volcánicas (basaltos) alrededor de ellas.

En terrenos metamórficos sin relación visible junto a plutones.

Punto 2.- y 3.- Antes mencionado. Tipo en argilitas, pórfidos carbonatados, de poco metamorfismo.

12.- Tipo en formaciones arcillosas metamórficas gneis de mica (sin excluir un poco de constitución carbonatada).

13.- Tipo óxido-silicatado en cristales calcáreos (tipo excepcional de significancia muy dudosa).

14.- Tipo en formaciones volcánicas (en sedimentos) metamórficos.

Debido a las dificultades de todas las clasificaciones genéticas, hay una tendencia a retornar a las clasificaciones no genéticas, y referirse a los depósitos por el tipo de roca que existe en ellos, por la cual nosotros clasificamos de la siguiente manera.

## 2.7 CLASIFICACION PROPUESTA

### 1. YACIMIENTOS ASOCIADOS AL GRANITO

#### EJEMPLOS

#### 1.1. Pirometasomáticos

Kamioka, Obori, Chichibu y Nakatats, Japón; La Negra, Oro., Concepción del Oro, Zac., Naica, Coah., Velardeña, Dgo. en México.

#### 1.2. Hidrotermales

Mantos	Zimapán, Hgo., Charcas,
Chimeneas	S.L.P., Fresnillo, Zac.
Vetas	San Fco. del Oro, Sta. Bárbara, Chih. en México,

### 2. YACIMIENTOS ASOCIADOS A ROCAS SEDIMENTARIAS

#### 2.1 Yacimientos sedimentarios

Newland, Cuenca Helena,



U.S.A.; Moresuet,  
Bélgica.

2.2 Yacimientos tipo  
Mississippi Valley

Pine Point, Canadá; San  
Vicente, Perú; Alto del  
valle del Mississippi,  
U.S.A.

3. YACIMIENTOS ASOCIADOS  
A ROCAS VOLCANICAS

3.1. Yacimientos vol-  
cánicos vetas

Pachuca Real del Monte,  
Hgo., Guanajuato, Gto.,  
Tayoltita, Dgo., Mina  
de Dolores, Chih. en  
México.

3.2. Yacimientos vulcano  
sedimentarios

Kuroko, Japón

## 2.8 BIBLIOGRAFIA

Alcock, F. J., 1930. Zinc and lead deposits of Canada. Can. Geol. Surv. Econ. Geol, Ser, No. 8, Ottawa. Resume of world Deposits.

Guilbert, Jonh M.; Oark, Charles F. Jr., 1985. The Geology of ore Deposits.

Jensen Mead L.; Bateman Alan M., 1979. Economic Mineral Deposits. Third Edition. 356-373.

Strangway, D. W., 1980. The Continental Crust and its mineral Deposits. Geol. Assoc. Can Spec. Pag. 20, 804 pp.

## CAPITULO 3. Modelos de yacimientos de Plomo-Zinc

### 3.1 Mantos y chimeneas en series calcáreas

- 3.1.1 Paragénesis y sucesión
- 3.1.2 Alteración supergénica
- 3.1.3 Importancia económica
- 3.1.4 Litología
- 3.1.5 Estructuras
  - 3.1.5.1 Fallas y fracturas
  - 3.1.5.2 Estratos y horizontes favorables para la mineralización
- 3.1.6 Rocas ígneas vecinas
- 3.1.7 Historia geológica
- 3.1.8 Hipótesis genética
- 3.1.9 Ejemplos tipo

### 3.2 Volcánicos

- 3.2.1 Paragénesis y sucesión según R.F. Black
- 3.2.2 Alteración supergénica
- 3.2.3 Importancia económica
- 3.2.4 Litología
- 3.2.5 Estructuras
- 3.2.6 Historia geológica
- 3.2.7 Hipótesis genética
- 3.2.8 Ejemplos tipo

### 3.3 Pirometasomáticos o de skarn

- 3.3.1 Paragénesis
- 3.3.2 Alteración supergénica
- 3.3.3 Importancia económica
- 3.3.4 Litología y estratigrafía
- 3.3.5 Estructuras
- 3.3.6 Rocas ígneas vecinas
- 3.3.7 Historia geológica
- 3.3.8 Hipótesis genética
- 3.3.9 Ejemplos tipo

### 3.4 Volcanosedimentarios

- 3.4.1 Paragénesis
- 3.4.2 Alteración supergénica
- 3.4.3 Importancia económica
- 3.4.4 Litología
- 3.4.5 Estructuras
- 3.4.6 Rocas ígneas vecinas

### 3.5 Mississippi Valley

- 3.5.1 Paragénesis
- 3.5.2 Alteración supergénica
- 3.5.3 Importancia económica
- 3.5.4 Litología y estratigrafía
- 3.5.5 Estructuras
- 3.5.6 Rocas ígneas vecinas
- 3.5.7 Historia geológica
- 3.5.8 Hipótesis genética
- 3.5.9 Ejemplos tipo

### 3.6 Sedimentarios

- 3.6.1 Paragénesis
- 3.6.2 Litología y estratigrafía
- 3.6.3 Estructuras
- 3.6.4 Hipótesis genética
- 3.6.5 Ejemplos tipo

### 3.7 Bibliografía

### 3.1. MANTOS Y CHIMENEAS EN SERIES CALCAREAS.

#### 3.1.1 PARAGENESIS Y SUCESION.

La esfalerita, galena y pirita son los minerales principales que se depositan durante el período de mineralización.

La cantidad precipitada de esfalerita y galena disminuye a fines de la mineralización; al mismo tiempo, se da un aumento en la precipitación de pirita, la que decrece en la última etapa de dicho período.

El cuarzo empieza a precipitarse al final de la depositación de la calcita más antigua y continúa hasta el final de la mineralización.

La calcita más antigua inicia su precipitación a mediados de la formación del depósito; continúa ininterrumpidamente y siempre en aumento progresivo casi hasta el final de la mineralización. La calcita más reciente se empieza a depositar casi al final.

Las sulfosales ocupan un lapso pequeño de depositación hacia fines de la formación del yacimiento.

A continuación se presenta un cuadro en donde se muestra la sucesión propuesta por Sawkins, 1964 (1)

Pueden existir diferencias de un yacimiento a otro como la mineralización mucho más intensa de pirita y calcita más antigua y la ocurrencia local de carbonatos de manganeso; aunque estas diferencias son muy pequeñas.

A continuación se presenta un diagrama en donde se muestra la sucesión propuesta por Sawkins (1964).

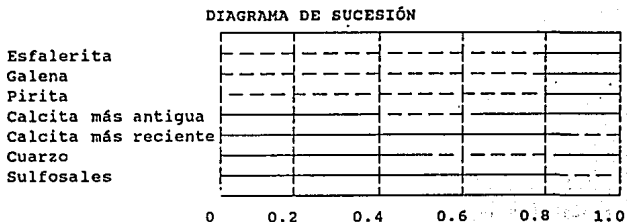


Diagrama de sucesión, simplificado del de Sawkins (1964).--(1)

(1) Dato obtenido de Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Concepción del Oro y Avalos, Zacatecas. Publicación 10 E. (CRNR).

### 3.1.2 ALTERACION SUPERGENICA.

Cada mineral reacciona en forma diferente al proceso de oxidación. El oro se queda en la zona de oxidación como producto de enriquecimiento. La oxidación de los sulfuros de zinc y fierro producen sulfatos solubles que pueden ser removidos por aguas circulantes. El plomo se convierte a sulfato que es relativamente insoluble y en un conjunto de rocas calcáreas es también transformado a carbonato de plomo que es aun más insoluble y por lo tanto también se enriquece la zona de oxidación. La plata, depende de su compuesto original y de su asociación con la galena y puede permanecer o ser removida a la zona de oxidación; como resultado se tiene un enriquecimiento en la zona de oxidación y enriquecimiento supergénico en la zona de transición.

El contenido de plomo aumenta constantemente en la zona de oxidación hasta la zona de enriquecimiento y disminuye progresivamente según aumenta la profundidad. Por el contrario el contenido de zinc disminuye en la zona de oxidación y aumenta con la profundidad: la zona de enriquecimiento supergénico del zinc, es mucho más extensa que en el resto de los minerales debido a su mayor solubilidad.

### 3.1.3 IMPORTANCIA ECONOMICA.

Con la finalidad de que se tenga una idea de la importancia en cuanto a producción y reservas de este tipo de yacimientos se toma como ejemplo la Unidad de Avalos, Zac.

La producción en la Unidad de Avalos, durante los años 1936-1950, en el Cuerpo Zinc West fue de 457,005 toneladas de mineral, con leyes que se citan a continuación (datos tomados de Triplett, 1951 en (1)).

Leyes	Equivalentes metálicos
0.36 gr Oro/Ton	0.164 Toneladas
211.11 gr Plata/Ton	96.478 Toneladas
6.69 % Plomo	30,573.674 Toneladas
19.67 % Zinc	89,892.883 Toneladas

De acuerdo con el mismo autor Triplett (1951), en el Cuerpo Animas se produjo un total de 843,396 toneladas de mineral con las siguientes leyes:

Leyes	
0.64	gr Oro/Ton
308.18	gr Plata/Ton
11.57	% Plomo
17.68	% Zinc

Equivalentes metálicos	
0.539	Toneladas
259.917	Toneladas
97,580.917	Toneladas
149,112.412	Toneladas

Resumen de producción y reservas de  
1918-1955 Unidad de Avalos, Zac.

Minerales	Toneladas	Pb	Análisis Ag	Zn
Oxidos explotados 1918-1935	3,000,000	12%	800 gr/Ton	
Sulfuros explotados 1936-1952	2,600,000	8%	260 gr/Ton	16%
Sulfuros explorados 1953-1955	450,000	5%	149 gr/Ton	15%
Reservas para 1955	500,000	4.5%	133 gr/Ton	14.7%
Explotación aproximada de sulfuros de 1955-1962	864,000			
<b>Toneladas totales</b>	<b>7,414,000</b>			

### 3.1.4 LITOLOGIA.

Este modelo se encuentra asociado a rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades varían desde el Oxfordiano o Jurásico Superior hasta el Reciente.

La columna estratigráfica está constituida por una serie continua de calizas con menores cantidades de lutitas y lutitas calcáreas con lentes y nódulos de pedernal que varían desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior.

En los sedimentos del Jurásico Superior existen dos unidades que son: la Caliza Zuloaga y la Formación La Caja; La Caliza Zuloaga consta de estratos gruesos de caliza gris claro a oscuro, masiva con algunas intercalaciones de limolita mal consolidada de color amarillento; la segunda, está representada por capas delgadas de lutita, caliza arcillosa y caliza con coloraciones que varían de gris negro a azulado, hacia la parte superior hay

un aumento de lentes de pedernal negro.

El Cretácico Inferior está constituido por la Formación Taraises, Caliza Cupido, Formación La Peña y Caliza Cuesta del Cura. Las dos primeras tienen un contacto gradacional, por lo que algunos autores consideran las dos formaciones como una sola, la primera consta de caliza de color gris a gris pardo con intercalaciones de lutita, que desaparecen en la parte de la Caliza Cupido, donde además las capas son de estratificaciones mucho más gruesas que en la Taraises.

En donde la Caliza Cupido se presenta marmorizada se puede confundir con la Caliza Zuloaga.

La Formación La Peña en su base contiene capas gruesas, que al subir estratigráficamente cambian a capas de poco espesor compuestas generalmente por argilita y bandas de pedernal de color crema a negro.

La Caliza Cuesta del Cura está formada por capas delgadas de caliza negra, con abundantes nódulos de pedernal negro, su estratificación es ondulante.

Al Cretácico Superior pertenece, la Formación Indidura, Formación Caracol y Lutita Parras.

La Formación Indidura está formada por caliza y lutita lajosa, interestratificada con caliza azul en capas delgadas; la Formación Caracol tiene capas de estratificación mediana de arenisca verde con lutita pardusca. La Lutita Parras es calcárea, gris oscuro muy astillosa que toma una coloración amarillenta por intemperismo.

Las rocas sedimentarias de origen continental, son fanglomerados, gravas y aluviones, aparecen como relleno de abanicos aluviales y de partes más bajas de los valles.

### 3.1.5 ESTRUCTURAS

En este tipo de modelo se presentan estructuras que pudieran ser controles para la mineralización, pero ninguna de ellas es el único factor de control. Algunas estructuras podrían ser aberturas que se formaron durante la deformación y que proporcionaron áreas de diferente potencial de temperatura y presión. Estas aberturas debieron ser verticales o muy inclinadas y capas de prolongarse hasta grandes profundidades.



### 3.1.5.1 FALLAS Y FRACTURAS.

El fracturamiento es el control más común de todos los yacimientos, aunque cuando existe metamorfismo en calizas, no es posible discernir el grado de importancia de las fracturas, ya que muchas de ellas fueron soldadas o cerradas durante el metamorfismo a causa de la plasticidad de las calizas.

El gran número de pequeñas fracturas, que con frecuencia presentan mineralización, fueron producto de la deformación de los sedimentos y del emplazamiento del intrusivo. Por lo general éstas no son lo suficientemente grandes para ser por sí mismas un depósito de importancia comercial. Existe gran cantidad de ellas que por lo general son transversales al rumbo de los sedimentos y al contacto principal del intrusivo, que sirvieron como canales de circulación de los fluidos mineralizantes, para de allí reemplazar a las calizas.

En algunos yacimientos, el control estructural de los grandes cuerpos minerales es, en la superficie, la estratificación, pero a profundidad algunos sistemas de fracturamiento es el único control de la mineralización. Sin embargo, los estudios detallados de juntas y fracturas en las cercanías de los cuerpos minerales no han mostrado ningún criterio que pudiera ser aplicado a la generalidad.

### 3.1.5.2 ESTRATOS Y HORIZONTES FAVORABLES PARA LA MINERALIZACION.

Por las características fisicoquímicas de los sedimentos éstos se comportan de forma distinta ante la deformación; algunos son muy competentes y otros incompetentes. Este fenómeno es de gran importancia en yacimientos en los que la sección estratigráfica está constituida, casi en su totalidad por alternancia de calizas casi puras y sedimentos pelíticos. Las calizas tienen alta plasticidad y pueden transmitir los esfuerzos mejor que los sedimentos pelíticos que se fracturan y al ser deformados proporcionan espacios abiertos que permiten la circulación de los fluidos.

El control estructural de los sedimentos, es de dos tipos; uno debido a las diferencias de competencia y el otro probablemente químico debido a la composición de los sedimentos que permitieron un fácil reemplazamiento.

La forma como se presentan los cuerpos minerales en general es principalmente chimeneas que casi siempre buzan en dirección del echado de los estratos. Las secciones transversales de los cuerpos minerales adoptan formas circulares, elípticas o, en

ocasiones, caprichosas; hasta profundidades de casi 1000 m.

Otra forma de presentación de los cuerpos es en mantos y fracturas mineralizadas, estas últimas tienen generalmente sus raíces en el contacto con el intrusivo y se continúan hasta donde la mineralización reemplaza un estrato de las calizas, se forman así los mantos. Algunas fracturas que sirvieron como canales para la mineralización se continúan en niveles más altos (con respecto al intrusivo) en forma de chimeneas que probablemente en parte fueron espacios abiertos entre capas por el encogimiento del intrusivo al cristalizar.

### 3.1.6 ROCAS IGNEAS VECINAS.

El centro del anticlinal está formado generalmente por la Caliza Zuloaga, intrusionado por la granodiorita, cuya acción intrusiva produjo disturbios en las rocas invadidas y desarrolló complicados plegamientos, principalmente en las rocas de estratificación delgada.

Las rocas ígneas se presentan en stocks de granodiorita, así como digitaciones en apófisis, diques y diquestratos que van desde granodioritas a dioritas en los cuerpos intrusivos, y de pórfidos riolíticos a corrientes volcánicas; también existen depósitos piroclásticos que varían en composición de riolita a andesita. En el contacto con el intrusivo se han formado gran variedad de rocas metamórficas entre las que se encuentran pirometasomáticas hasta las alteradas por simple recristalización. Las primeras son skarns y tactitas, cuya área de influencia es relativamente grande. La recristalización contiene mármoles que varían en tonalidades de negro a gris y blanco.

### 3.1.7 HISTORIA GEOLOGICA.

La historia geológica de la localidad que sirve como ejemplo se inicia con las rocas Permo-carboníferas. De acuerdo con los tipos de rocas es evidente que existió una cuenca sedimentaria marina durante el Paleozoico (Pérmico). Burckardt en (1) menciona un movimiento orogénico que se originó en el Triásico. También se inició una erosión que predominó hasta el Jurásico Medio.

La sedimentación franca se inicia en el Jurásico Superior cuando hubo una relativa tranquilidad y conservación de las líneas de costa. En el Oxfordiano principia una transgresión marina y empieza a depositarse la Caliza Zuloaga sobre la superficie de erosión y continúa en forma ininterrumpida en todo el Cretácico Superior. Las variaciones en cuanto a los tipos de roca depositados en este largo periodo son transicionales de

caliza a lutitas, pasando por los tipos intermedios. El cambio de estratificación gruesa a sedimentos lutíticos de estratificación delgada puede indicar un cambio brusco del nivel del mar; de profundo pasa a muy somero y con niveles muy variables durante el Kimmeridgiense y Portlandiano.

Aparentemente no hubo ninguna emergencia continental entre el Jurásico y Cretácico, sin embargo existe una separación por la ausencia de sedimentos del Berrasiense.

En el Cretácico Inferior continuó la depositación de caliza, en un mar de moderada profundidad, con capas de material clástico probablemente debidos a elevaciones de las áreas circunvecinas. Paulatinamente la profundidad de los mares se acentuó hasta principios del Aptiano y conserva un nivel estático hasta el piso Cenomaniano en que termina la acumulación de la Caliza Cuesta del Cura.

A partir de entonces, unos disturbios orogénicos inician la elevación de terrenos y dan como resultado un cambio en la sedimentación de caliza de origen químico o bioquímico a las lutitas y areniscas limolíticas.

La deformación orogénica se prolongó hasta mediados del Eoceno que representa la Orogenia Laramide, la sedimentación cesó y los sedimentos fueron comprimidos y deformados por fuerzas que actuaron del sur y del oeste. Hacia finales de esta orogenia, algunos de los núcleos de las estructuras anticlinales, fueron invadidos por grandes masas de rocas ígneas y dan lugar a los stocks, los que metamorfosearon y mineralizaron, directa o indirectamente las rocas adyacentes.

Cuando los esfuerzos de compresión terminaron, les siguieron esfuerzos de tensión que originaron fracturas y fallas normales.

Al terminar la Orogenia Laramide siguió un período de erosión que dejó al descubierto las cúpulas de los cuerpos intrusivos principales. Esta erosión continuó hasta el Plioceno.

Durante el Mioceno nuevas perturbaciones produjeron fallamientos en bloques y actividades volcánicas que continúan hasta la actualidad. La actividad volcánica está representada por riolitas, traquitas y rocas más básicas.

### 3.1.8 HIPOTESIS GENETICA.

La distribución y relaciones estructurales de los cuerpos minerales con intrusiones ácidas, sugieren una relación genética entre ambos.

Mediciones de temperatura efectuadas por Sawkins (1964 en

1) en las esfaleritas de los yacimientos, dieron como temperaturas de mineralización entre los 205°C y 365°C. Esto último debido probablemente a la lejanía entre el intrusivo y los cuerpos minerales, que fueron el producto del reemplazamiento de los sedimentos calcáreos, en donde debió darse una difusión de calor hacia los sedimentos más fríos; y como factor más importante es que el intrusivo se acercó más a la superficie.

Por lo citado anteriormente, lo más probable es que los fluidos mineralizantes fueron proporcionados por la cámara magmática a profundidad, los cuales después de atravesar parte del intrusivo utilizaron como canales de acceso, los contactos de los flancos del intrusivo con los sedimentos. Aunque muy pocos cuerpos minerales del tipo en estudio ocurren directamente en el contacto, la mayoría de ellos se sitúa en sus cercanías; la separación máxima es de un kilómetro del contacto de la granodiorita. Además la mayoría de las chimeneas terminan a profundidad precisamente al llegar al contacto con el intrusivo. Por lo tanto, es probable que los fluidos mineralizantes, provenientes de una cámara magmática profunda atravesaron el intrusivo, hasta que llegaron a la zona de contacto, que en algunos casos usaron como canales de acceso, o empezaron a depositarse al encontrar un medio adecuado.

Los depósitos de este tipo han sido clasificados por varios autores, entre ellos Triplett (1952 en 1) como Mesotermales a Epitermales.

### 3.1.9 EJEMPLOS TIPO:

Zimapán,	Hidalgo.
Charcas,	San Luis Potosí.
Santa Eulalia,	Chihuahua.
Freñnillo,	Zacatecas.
Santa María de la Paz,	San Luis Potosí.

### 3.2 VOLCANICOS.

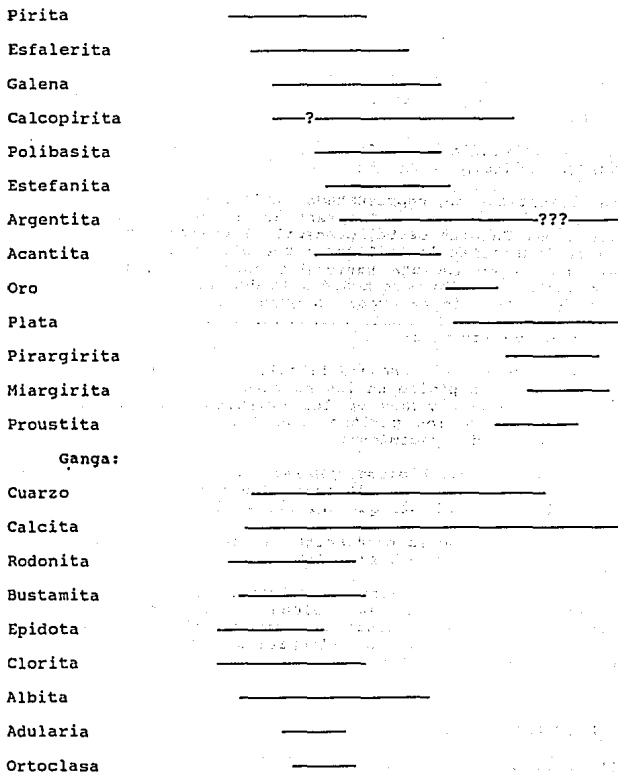
Para el desarrollo de este modelo se tomó como ejemplo a Pachuca, por ser uno de los yacimientos más representativos.

#### 3.2.1 PARAGENESIS Y SUCESION SEGUN R.F. BLACK EN GEYNE, ET. AL., 1963.

Los minerales de veta en la zona de Pachuca se depositaron en una secuencia poco variable de un lugar a otro. En el

siguiente diagrama se presenta una secuencia que puede tener pequeñas variaciones según el distrito. La longitud total de cualquier línea denota el tiempo en el cual cristalizó el mineral. Sin embargo, el tiempo de depósito de uno con respecto a otro queda indicado por la longitud horizontal de la línea.

**Sucesión:**



La propilitización y albitización de las rocas de los respaldos son manifestación de la actividad hidrotermal asociada con las vetas. Aunque no puede determinarse qué proporción de la propilitización y albitización es atribuible a la actividad magmática tardía durante o poco después del depósito de las rocas encajonantes y el emplazamiento de los diques, ni qué proporción se puede atribuir a la actividad hidrotermal que precedió y acompañó al relleno de veta.

La propilitización implicó el depósito de cristales euédricos de pirlita y epidota, con minerales de caolín y diversas variedades de clorita.

La albitización transformó las plagioclasas Ca-Na a plagioclasas sódicas.

La silicatización, representada por la formación de rodonita y bustamita, fue un proceso temprano que afectó a las rocas de los respaldos. En gran parte, precedió al cuarzo más temprano, aún cuando localmente los silicatos reemplazaron y cortaron al cuarzo. Indudablemente una parte del cuarzo granular fue de origen magmático tardío o se debió a la desvitrificación de los derrames de lava. Sin embargo, en gran parte fue introducido posteriormente, durante la alteración hidrotermal relacionada con la alteración de las vetas.

Posteriormente se introdujo la calcita. Gran parte de ésta también siguió al depósito de los sulfuros de metales básicos, aunque coincidió con muchos de los sulfuros argentíferos. La calcita tuvo uno de los períodos más largos de depósito que cualquier mineral del yacimiento.

Entre los sulfuros básicos, con raras excepciones, la pirlita fue el primer sulfuro en cristalizar. Continuó desde el inicio de la propilitización hasta que principia el relleno de veta.

La mayor parte de la esfalerita siguió a la pirlita y gran parte de la galena siguió a la esfalerita.

En la mayoría de las vetas la calcopirita traslapó, aunque principalmente siguió a la galena. Los otros sulfuros argentíferos, como la miargirita, pirargirita y proustita, invariablemente siguieron a la calcopirita y fueron los últimos minerales hipogénicos en formarse.

### 3.2.2 ALTERACION SUPERGENICA.

En el distrito de Pachuca - Real del Monte - que sirve de ejemplo para este modelo, en la mayoría de las muestras

procedentes de las vetas, la alteración supergénica es considerada de poca consecuencia, excepto en la producción de cantidades menores de calcocita, covelita, bornita, plata nativa y manchas de carbonato de cobre y óxidos de manganeso y hierro. La mayor parte de la argentita es primaria. Gran parte de la plata nativa también es considerada hipogénica. Parece poco probable que la cantidad de plata supergénica sea suficiente para clasificarla como mena; en donde los minerales argentíferos hipogénicos fueron destruidos por oxidación local en las cimas de algunos cuerpos de mineral; el residuo no consiste en mena. En algunas vetas fracturadas el contenido de plata probablemente ha sido reducido por la lixiviación es de poca importancia en su efecto sobre la ley del mineral, ya sea en donde la plata fue removida o en donde fue depositada.

### 3.2.3 IMPORTANCIA ECONOMICA.

La capacidad máxima de tratamiento metalúrgico y la producción mayor del Distrito Fachuca-Real del Monte correspondió a la década de los 30, cuando el tonelaje total del mineral beneficiado sumó unas 170,000 toneladas por mes, con una producción aproximada de 70 toneladas de plata pura y 350 kg de oro puro por mes. Un análisis químico del mineral de la planta de Loreto en 1936 es el siguiente:

Ag .....	410.00	g/ton
Au .....	2.30	g/ton
Fe .....	2.90	%
Zn .....	0.50	%
Pb .....	0.05	%
Cu .....	0.01	%
Mn .....	0.60	%
S .....	0.70	%

En el primer año de operación de la planta para tratar los jales (1960), se produjeron unas 7,400 toneladas de concentrados con un contenido de 16,220 kg de plata y 22 kg de oro. Un promedio aproximado del contenido metálico en estos concentrados es como sigue:

Zn .....	27.00	%
Fe .....	15.00	%
Pb .....	4.00	%
Cu .....	1.00	%
Ag .....	2.20	kg/ton
Au .....	3.20	g/ton

En estos concentrados la relación del cobre al plomo es aproximadamente de 1 a 4, mientras que la del plomo al zinc es de 1 a 7.

### 3.2.4 LITOLOGIA (eventualmente estratigrafía).

El basamento del Distrito Pachuca-Real del Monte está constituido por rocas preterciarias pertenecientes a la Formación El Doctor de edad albiense y cenomaniense temprana (postrimerías del Cretácico Temprano). Está compuesta por calizas en capas gruesas con algo de dolomía intercalada. No se conoce el espesor de esta formación bajo el distrito, pero se cree que es bastante considerable ya que fuera de él alcanza más de 1000 m.

La Formación El Doctor está cubierta discordantemente por caliza en capas gruesas llamada Formación Cuautla de edad turoniana. Hacia el norte del distrito la caliza tiene estratificación más delgada y se conoce con el nombre de Formación Soyatal, o sea una facies diferente de la misma unidad. En algunos lugares cercanos al distrito estas formaciones alcanzan varios cientos de metros, pero ambas pueden adelgazarse a un grado tal de no estar presentes debajo del propio distrito minero.

Las rocas que sobreyacen al Grupo El Morro son, casi totalmente, rocas volcánicas. La mayor parte de estas rocas terciarias están constituidas por derrames de lava y por brechas de derrame.

Las rocas volcánicas terciarias en el distrito varían en composición desde el basalto a la riolita, pero los tipos de rocas más comunes son la dacita y la andesita.

Las rocas volcánicas y piroclásticas interestratificadas, se han dividido en 10 formaciones, de las ocho inferiores constituyen el Grupo Pachuca. Cada formación está constituida generalmente por varios derrames de lava y brechas de derrame con capas piroclásticas interestratificadas. Dichas formaciones generalmente no pueden ser diferenciadas a simple vista, con seguridad, sólo a base de un estudio petrográfico. Cuatro excepciones a esta regla consisten en la andesita oscura no porfídica de la Formación Corteza, las rocas silíceas claras de la Formación Santiago y Cerezo, y el basalto y andesita olivínica oscuros de la Formación San Cristóbal.

Casi todas las formaciones tienen capas clásticas relativamente persistentes en su base. Las capas piroclásticas y las tobáceas depositadas por el agua que están intercaladas entre los derrames de lava y la brecha, generalmente son mucho más lenticulares y menos extendidas que las de la base.



Las capas clásticas basales tienen continuidad con estratos potentes y persistentes de brecha de derrame. Las formaciones Pachuca y Real del Monte, contienen sucesiones de capas alternantes de lava masiva y de brecha de derrame. Dichas capas pueden tener espesores de 5 hasta 100 m.

Rocas Intrusivas Terciarias.- Estas rocas del Terciario Tardío están ampliamente distribuidas en el distrito que sirve de ejemplo y en la región circundante. Consiste en numerosos diques y cuerpos irregulares, que en la superficie varían en longitud desde cientos de metros hasta unos 4 km y en anchura desde pocos metros hasta más de 100 m. En el subsuelo a la elevación de 2,200 m sobre el nivel del mar, algunos de los diques tienen de 10 a 14 km de largo y en niveles inferiores pueden tener mayor longitud. Varios cuerpos en forma de embudo parten de los diques y se ensanchan hacia arriba.

Las rocas intrusivas se dividen en seis grupos según sus edades relativas y son: pórfido de dacita hornbléndica, pórfido cuarcífero de grano fino, pórfido cuarcífero de grano grueso, pórfido de dacita biotítica, felsita y andesita de olivino.

### 3.2.5 ESTRUCTURAS.

Las rocas marinas cretácicas de la región fueron intensamente plegadas, entre el Cretácico Tardío y el Eoceno Tardío.

Los pliegues mayores están orientados en la dirección general noroeste. Los pliegues tienen diferentes longitudes de onda y varían en amplitud desde unos cuantos metros hasta 3000 m. Los pliegues más grandes pueden describirse como anticlinorios y sinclinorios.

Las rocas terciarias más antiguas de la región consisten en rocas clásticas continentales del Grupo El Morro formadas por el material erosionado de las rocas cretácicas.

La estructura de las rocas volcánicas es difícil de descifrar en especial, la distinción entre los rasgos estructurales depositacionales y la deformación posterior. La orientación de la base de un derrame de lava es un rasgo muy local que depende de la superficie topográfica sobre la que escurrió la lava.

En términos generales, puede decirse que el Distrito Pachuca-Real del Monte parece haber consistido en varias zonas compuestas de fallas con rumbo al oeste-noroeste que atraviesan todo o una parte del distrito, así como una ancha faja de fracturas con rumbo casi al norte, las zonas de fallas con rumbo al oeste-noroeste, junto con sus muchos ramales, eslabones, segmentos curvos, fallas paralelas y tramos con otros nombres,

consisten en:

- (1) la zona Parícutín,
- (2) la zona Dos Carlos-Santa Gertrudis,
- (3) la zona Gran Campaña-Argentina.

La mayoría de las fallas en esta zona son de tipo normal y muestran separaciones según el buzamiento, que varían de unos cuantos metros hasta más de 350 m; unas pocas son fallas inversas muy empinadas. Todas las fallas y fracturas fueron los conductos principales seguidos por los fluidos mineralizantes en el distrito.

### 3.2.6 HISTORIA GEOLOGICA.

En tiempos cretácicos, en un ambiente marino se depositaron las rocas que sirven como basamento a la región en estudio.

Entre el Cretácico Tardío y el Eoceno Tardío, en lo que se conoce como Orogenia Laramide las rocas marinas fueron intensamente plegadas.

En el Terciario, en un ambiente continental, las rocas cretácicas fueron erosionadas y depositadas en arcos continentales; este evento está representado por el Grupo El Morro, el cual se depositó hacia final del Eoceno. Para este tiempo el plegamiento había cesado y la erosión había removido las crestas o charnelas de los anticlinales, antes de que las rocas terciarias empezaran a depositarse; de acuerdo con la evidencia suministrada por el gran relieve topográfico y estratigráfico que se observa sobre las rocas cretácicas a lo largo del contacto entre éstas y el Grupo El Morro sobreyacente a las rocas terciarias más jóvenes existentes al norte del Distrito de Pachuca y en otras partes del centro de México.

De acuerdo con estudios del Conglomerado Guanajuato, del Fanlomerado El Morro y del Grupo Balsas, tectónicamente la región pasó desde una fase de plegamiento hasta una de fracturamiento y fallamiento normal.

Debido a que las capas superiores a los clásticos terciarios se encuentran casi en posición horizontal, se infiere que el fallamiento iba disminuyendo mientras que el material se acumulaba. Parece que el fallamiento había cesado casi por completo hacia principios del Oligoceno, tiempo en que el volcanismo llegó a extenderse ampliamente en el Distrito de Pachuca. Dicho volcanismo está representado por material tobáceo y derrames de lava de composición variable, de basáltica a riolítica. Todas las rocas volcánicas desde la Formación Santiago hasta la Formación Cerezo, inclusive se piensa que varían en edad, desde el Oligoceno medio hasta el Mioceno Tardío o el Plioceno Temprano.

### 3.2.7 HIPOTESIS GENETICA.

Este yacimiento es de tipo epigenético, ya que los minerales se presentan como rellenos en fisura. Fueron formados sobre los respaldos de cavidades abiertas y en menor escala reemplazaron las rocas vecinas y a los minerales ya existentes.

La paragénesis formada por cuarzo, bustamita, calcita, pirita, esfalerita, galena, calcopirita y sulfuros argentíferos con plata y oro nativos, que forman los rellenos principales de veta, sugieren temperatura de depósito baja, inferiores a 200°C y quizá inferiores a 100°C hacia el final del depósito.

Los cuerpos más ricos se formaron a 300 m por debajo de la superficie, en la época de la mineralización y los más someros cerca de los 100 m de profundidad, lo que indica presiones hidrostáticas de bajas a moderadas. Los minerales sulfurados disminuyen en abundancia tanto hacia arriba como hacia abajo de las vetas. Algunas vetas se angostan hacia abajo, mientras que otras continúan con poco cambio en anchura y algunas se ensanchan, pero en todas el mineral principal es el cuarzo, con contenido muy bajo de sulfuros.

Según la clasificación de Lindgren (1933 en Geyne, et. al. 1963), los yacimientos de Pachuca-Real del Monte se consideran como depósitos "epitermales" formados por aguas calientes ascendentes relacionadas con la actividad ígnea, introducidos en fisuras preexistentes y depositados por procesos químicos. De acuerdo con Bateman (1950 en Geyne, et. al. 1963) este yacimiento se considera como vetas de fisura que se formaron por rellenos hidrotermales de fisura del tipo "epitermal".

Probablemente, los yacimientos de este tipo están en relación directa con el propio volcanismo que los incluye. En los conceptos antiguos de Lindgren y Bateman, la idea de líquidos a ciertas temperaturas procedentes de cuerpos o "fuentes" generadoras más o menos conocidas deja de tener validez aparente, pues, por lo que se sabe, en distritos mineros como el de Pachuca, Guanajuato, Tayoltita, etc., no se han encontrado nunca evidencias de la conexión con tales posibles fuentes. Por el contrario, todos los metalotectones siempre presentes en esos distritos permiten pensar en una asociación bastante evidente con los propios fenómenos volcánicos.

### 3.2.8 EJEMPLOS TIPO :

Guanajuato,	Guanajuato.
Tayoltita,	Durango.
Tahuehueto,	Durango.
Mineral de Dolores,	Chihuahua.

### 3.3 PIROMETASOMATICOS O DE SKARN

Los yacimientos de skarn son depósitos de alta temperatura que se originan por cambios en rocas calcáreas al ser intrusadas por cuerpos magmáticos generalmente de composición granítica en sentido amplio; los yacimientos que se desarrollan alrededor de éstas se encuentran en ambientes geológicos que van del Precámbrico hasta el Terciario.

Para la formación de este modelo se tienen ciertos factores constantes como son:

1.- Rocas calcáreas.- Que dan una aureola metamórfica de mayores dimensiones en comparación con las rocas con mayor cantidad de sílice; en éstas, la aureola disminuye hasta permanecer prácticamente inalterable.

2.- Rocas intrusivas.- Estas rocas constituyen la fuente de energía y según los autores tradicionales, los elementos que dan lugar a la formación del yacimiento. En algunos depósitos, en los que se puede ver el contacto intrusivo skarn - caliza se establecen dos relaciones estructurales:

a) Skarn alrededor del intrusivo.- El skarn está en la zona de contacto a lo largo de capas definidas; frecuentemente estos depósitos son levantados por movimientos orogénicos y forman domos o pliegues (Jones et al en González, 1985).

b) Skarn rodeado por intrusivo.- Se forma donde la caliza queda como remanente de techo ("roof pendant") o un bloque caído dentro del intrusivo, parcial o totalmente reemplazado por skarn.

3.- Condiciones de presión y temperatura.- Estos depósitos se originan por un proceso de metamorfismo térmico somero; la presión hidrostática es baja de 100 - 1,000 bars, con rangos de temperatura de 500 a 800 grados Celsius.

4.- Control para el reemplazamiento de la mineralización.-

a) Control estructural.- Las soluciones hidrotermales penetran en la roca por infiltración, controlada por el fracturamiento (planos de estratificación, diaclasas, fallas, microfracturas) y la permeabilidad (textura, composición del material, tamaño de granos, naturaleza de las rocas, grado de cohesión entre partículas); también pueden penetrar por difusión donde los iones en solución son sometidos a movimientos iónicos a moleculares que difunden una sustancia de zonas de alta concentración a zonas de baja concentración.

b) Control mineralógico.- Por medio de sonda eléctrica se ha determinado la complejidad mineralógica dentro de los skarns que indica que pueden encontrarse procesos metasomáticos combinados y transpuestos tanto de infiltración como de difusión (González, 1965).

c) Control paragenético.- El origen de estos yacimientos depende de asentamientos geológicos regionales, asociaciones magmáticas, edades isotópicas de roca encajonante e intrusivo, distribución en el tiempo y el espacio de asociaciones y conjuntos mineralógicos; esto produce los diferentes tipos de skarn así como su contenido económico de metales.

Las etapas evolutivas para la formación del skarn son las siguientes (González, 1985):

I.- Metamorfismo de contacto.- Este metamorfismo forma una aureola térmica zoneada, que puede ser de mármoles y hornfels ricos en silicatos cálcicos, pobres en hierro, esta etapa es generalmente estéril en cuanto al contenido de menas.

II.- Desarrollo metasomático.- Esto sucede al cristalizar el magma y liberar fluido magmático hidrotermal que va ocasionando el fracturamiento hidráulico del mismo intrusivo, estos fluidos circulan por infiltración y difusión hacia la roca encajonante, hay una etapa temprana de formación de minerales anhidros ricos en Fe, SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; en la etapa tardía es cuando se depositan los sulfuros.

III.- Alteración retrógrada y depósito de sulfuros.- Existe un intercambio local entre componentes del magma y las rocas carbonatadas que se lleva a cabo a altas temperaturas. La depositación de sulfuros y la alteración del skarn atraviesa estructuras ya formadas y ocasiona mineralización superpuesta.

Las características de los depósitos de skarn aparte de otros tipos de depósitos minerales es la ganga constituida generalmente de granos gruesos ricos en Fe, mezcla de silicatos de Ca-Mg-Fe-Al (Einaudi y Burt, 1982).

Se clasifica de dos maneras al skarn:

a) De acuerdo al tipo de roca que sustituyen -Endoskarn- reemplazamiento en rocas intrusivas; es más importante donde los fluidos metasomáticos utilizaron contactos lutita-caliza, volcánicos-caliza o dique-caliza como conducto y fueron ampliamente fracturados y sin embargo, altamente permeables.- Exoskarn- reemplazamiento en rocas carbonatadas y puede basarse en cuanto a la mineralogía dominante que en la mayoría de los casos refleja la composición de las rocas carbonatadas.

b) De acuerdo al mineral de mena económico.- Fe, Cu, Pb-Zn, Mo, W, Sn y Au.

Depósitos de Skarn de Pb-Zn.- Estos depósitos en la mayoría de los casos se presentan en ambientes someros de edad terciaria, se forman a partir de la última etapa orogénica de los cinturones del margen continental y se asocian con magmatismo granodiorítico a granítico (\*Einaudi y Burt, 1982).

Einaudi, et al (1981) los clasifica de acuerdo a la forma del intrusivo.

1).- Skarn formado cerca de batolitos.- Tienden a ser más pequeños y menos ricos en magnesio que los otros tipos de skarn, formados a lo largo de fallas y planos de estratificación por varios cientos de metros; es deficiente en cantidades significantes de mineralización de sulfuros en la caliza exterior del skarn. Ejs: Mineral King, California, Yukon.

2).- Skarn formado cerca de stocks.- La zona típica de skarn se extiende lejos del contacto con el intrusivo a lo largo de fallas. Contactos litológicos o diques, contienen cantidades significantes de mineral en ambas rocas y aún fuera del skarn. Ejs.: Distrito de Zimapán, Hgo.; Velardeña, Dgo.; Dolores, S.L.P.

3).- Skarn formado cerca de diques.- Presenta un alto grado de alteración en el intrusivo, sulfuros a una distancia considerable del intrusivo a lo largo de fallas o contactos litológicos, zoneamiento común a través de los contactos; lo que sugiere que el dique sirvió como guía estructural y que el origen de las soluciones metasomáticas fue más profundo, aunque posiblemente cogenético con el cuerpo magmático. Ejs.: Varios distritos de Chihuahua (Sta. Eulalia, Naica, Frisco, Hidalgo); Tetela de Ocampo, Pue., Tepezalá, Ags.

4).- Skarns formados distantes a un probable o desconocido origen ígneo.- Esta ocurrencia enfatiza la importancia por donde va la solución en el desarrollo de los depósitos de este tipo Meinert (1980b en Einaudi, et al, 1981), propone que la solución viaja y que el enfriamiento resultante y el traslado selectivo de componentes relativamente insolubles anterior a la formación del skarn puede ser un proceso importante en el desarrollo de los depósitos de Pb-Zn.

Ejs: La Encantada, Coah.; Linchburg, New México; Paymaster Nevada.

5).- Depósitos de vetas de carbonato con minerales de manganeso o calcosilicatados.- Estos depósitos no son skarn en el sentido estricto, sin embargo presentan cantidades traza de minerales de silicatos de Mn que apoyan un depósito de skarn de Pb-Zn típico, se caracterizan por las relaciones de sulfuros/silicatos altos, formación a temperaturas bajas y ocurrencia distante al origen ígneo que los causa.

Ejs: Island B.C., Canadá; Uchucchacua, Cajatambo, Perú.

#### MINA VELARDEÑA, DURANGO

El área de Velardeña está ubicada en la parte norte central de la República Mexicana, en la zona noreste del Estado de Durango con las siguientes coordenadas aproximadas 25° 02' - 25°

07' Latitud Norte y 103° 37' - 103° 47' Longitud Oeste, su elevación sobre el nivel del mar es de 1,400 m. Su acceso es por la carretera federal No. 40 Torreón-Mazatlán hacia el sur hasta llegar al crucero de Pedriceña y después se continúa por un camino pavimentado hasta el poblado de Velardeña. (fig. 3.3.a).

### 3.3.1 PARAGENESIS

Se observan cuatro asociaciones principales de mineralización:

1).- Mineralización de zinc asociada al dique de traquita: Marmatita, pirrotita, cantidades menores de pirita y calcopirita. Los minerales de ganga son diópsida, epidota, granates (grosularita y andradita), idocrasa, calcita y cuarzo.

2).- Mineralización de zinc y cobre asociado al dique de alaskita:

Zinc con bandeamiento vertical de marmatita Cu-Zn-Ag-Au, calcopirita asociada con pirita y pirrotita o con agregados de pirrotita-pirita-marmatita; también se encuentra asociado con pequeñas cantidades de covelita y digenita. La plata está incluida en la calcopirita; cuando se encuentra molibdeno se presenta en escamas finas de molibdenita.

3).- Mineralización de plomo-plata y antimonio:

Se presenta como última fase de la mineralización, los minerales económicos son: galena, esfalerita, argentita y otras sulfosales de plata la ganga es de cuarzo, calcita, clorita y pirita, contiene también estibinita, pirita y fluorita en vetillas. En la zona de oxidación la ganga consiste de limonita, sílice y yeso.

### 3.3.2 ALTERACION SUPERGENICA

En los primeros metros dentro de la superficie o dentro de las fallas que cruzan las estructuras mineralizadas, las rocas están muy alteradas y se encuentran limolitas en forma de zincita (ZnO), que después es reemplazada por Smithsonita (ZnCO<sub>3</sub>) con la disminución del grado de alteración (Felder, 1979).

En el Cuerpo de Zinc, los minerales de la zona de oxidación son: hemimorfita, adamita y un poco de smithsonita. Para el cuerpo de Santa María en la zona de óxidos se presentan cerusita, vanadinita, wulfenita y hemimorfita (Ambriz, 1979).

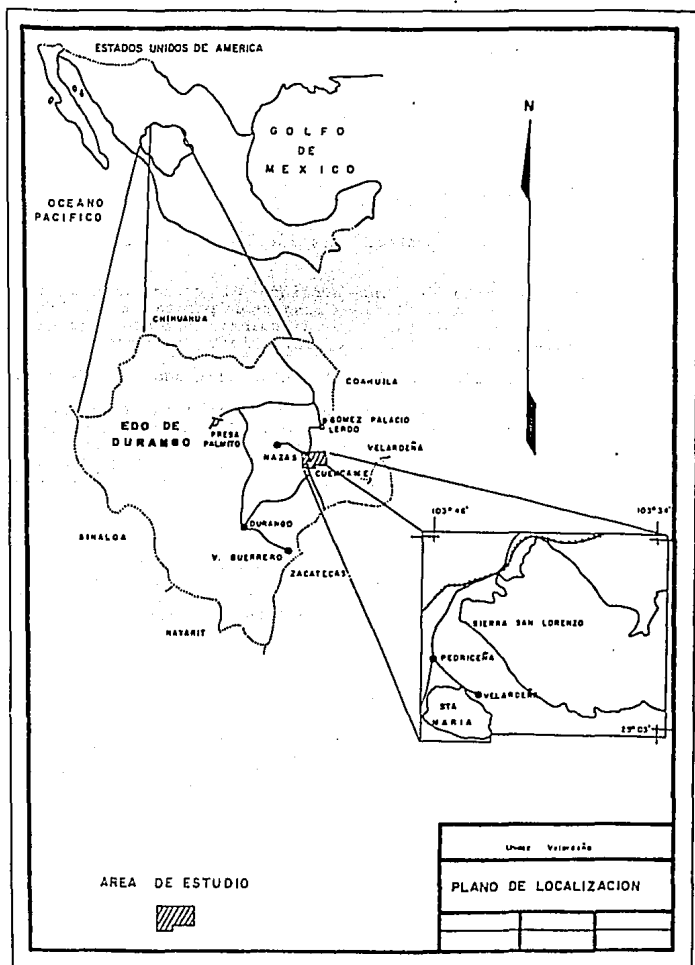


fig. 3.3.a.- Localización del área



### 3.3.3 IMPORTANCIA ECONOMICA

Felder (1979), cita que el skarn relacionado con la traquita tiene proporciones económicamente mineralizadas de 70% y en muchas ocasiones 90%, en el contacto del skarn y la caliza hay una zona de mármol con algunos metros de espesor. El dique de alaskita da origen a una intensa skarnificación de la roca calcárea de más de 100 m; sin embargo, más del 90% está débilmente mineralizado, el contacto inferior generalmente no da origen a cuerpos continuos con leyes suficientemente altas como para ser de interés económico; el contacto superior da origen a cuerpos continuos con leyes suficientemente altas como para ser de interés económico; el contacto superior da origen a buenas concentraciones de zinc tanto en ley como en continuidad; los skarns relacionados con los contactos verticales de alaskita son de mayor importancia económica. En la estructura de Los Azules por medio de barrenación se han encontrado leyes de 200 - 300 gr/ton de Ag y 2 - 3% de Pb. Para los yacimientos en vetas el antimonio puede tener leyes de más de 1% y de plata de 30 a 40 gr/ton.

Las reservas para esta mina con base en datos de barrenación a diamante y con muestreo de obras mineras son:

CATEGORIA	TON. MET.	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (gr/ton)
PROBADA	7' 508.448	6.27	0.39	0.29	23
PROBABLE	4' 217.960	4.87	0.54	0.51	35
TOTAL	11' 726.408	5.77	0.44	0.37	28

Para Ambriz, 1979 las leyes son: En el Cuerpo Sta. María; 278 g de Ag/ton y 15.6% combinado Pb-Zn, Cuerpo de Zinc; 46 g de Ag/ton, 1% de Pb y 12.3% de Zn, Cuerpos del dique-estrato; Leyes de 34 g de Ag/ton, 0.9% de Pb y 10.7% de Zn, Cuerpo de Los Azules; 158 g de Ag/ton, 2.5% de Pb y 0.7% de Zn.

### 3.3.4 LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La roca más antigua que aflora en la Sierra de Santa María es la Fm. Aurora que subyace concordantemente a la Fm. Cuesta del Cura y constituye la parte central del domo; es una caliza gris claro masiva y en estratos gruesos, abundantes nódulos de pedernal ocre, fracturas selladas por calcita, al estar en contacto con el intrusivo se presenta metamorfoseada por varios cientos de metros, le sobreyace a ésta la Fm. Cuesta del Cura que forma un anillo en la periferia del domo, es una caliza gris oscura a negra, en estratos delgados a medianos, en la parte superior se presenta intercalada con lentes de pedernal negro; localmente se encuentra cubierta por roca andesítica que presenta intensa propilitización, donde la pirita es el mineral de

alteración. A la Fm Cuesta del Cura le sobreyace la Fm Indidura, aunque su litología no corresponde completamente a la descrita en la localidad tipo, estas rocas están ligeramente metamorfoseadas e incluyen areniscas, limolitas, calizas, hornfels y mármol. (Fig. 3.3.4.a).

### 3.3.5 ESTRUCTURAS

En el cuerpo de Santa María las dimensiones de las estructuras mineralizadas son muy variables, se pueden presentar desde unos cuantos cm hasta 12 m, la traquita presenta abundante mineral diseminado en el skarn en espesores hasta de más de 20 m, se encuentra como lentes aislados en las zonas fuertemente fracturadas, y en fracturillas de donde resultan clayós económicos con potencia de hasta 20 m. La mineralización asociada al dique de alaskita, se presenta en cuerpos tabulares con espesores de 1 - 10 m, la marmatita se presenta en bandeamiento vertical.

En el cuerpo de zinc las dimensiones tienen una gran variedad en tamaños y también en formas, en distancias muy cortas, lo cual ha ocasionado dificultades en la cuantificación de leyes y tonelaje.

En los cuerpos de dique-estrato las tactitas mineralizadas de sulfuros de Fe y Zn varían de 2 a 20 m con extensiones de cientos de m.

El Cuerpo de los Azules se presenta en claros.

La mineralización de plomo-plata y antimonio se presenta en vetas.

### 3.3.6 ROCAS IGNEAS VECINAS

Las rocas ígneas que hay en la zona están directamente relacionadas con la mineralización, son intrusivas y se presentan en forma de stocks, diques y sills que intrusionan a las rocas más antiguas que son las formaciones Aurora y Cuesta del Cura y causan la estructura del Domo de Santa María.

El dique de traquita tiene un espesor de 20 a 30 m. es una roca afanítica gris claro a color ante, constituida de 65 a 75% de feldespatos alcalinos, 15 - 25% de cuarzo y lo demás de tremolita, actinolita, carbonatos, epidota y sericita, fuertemente silicificada y con cristales de epidota. El dique de alaskita tiene un espesor de 150 m, porfídica y en colores ante a naranja amarillento, la roca se encuentra fracturada y en donde es más intenso este fracturamiento existen granates, epidota y

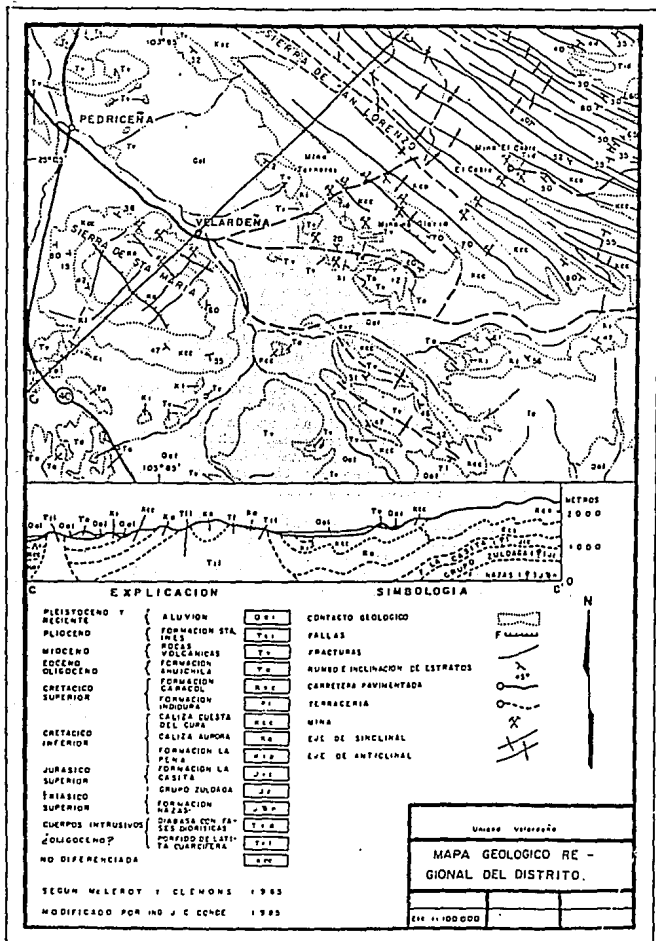


fig. 3.3.4.a. - Mapa geológico regional del Distrito de Santa María Yelardeña

cuarzo en vetillas.

Los intrusivos asociados a la estructura de Los Azules son diques de composición más básica.

### 3.3.7 HISTORIA GEOLOGICA

La depositación de las formaciones Aurora y Cuesta del Cura fue en mares del Cretácico, la Fm. Aurora en ambientes estables y para la Fm. Cuesta del Cura levantamiento lento (Levich, 1979 en Frederick, 1979), por su adelgazamiento y su intercalación de pizarra, este levantamiento fue haciéndose más intenso hacia el Cretácico Tardío, las capas delgadas de caliza y pizarra sobrepuesta de limolita, areniscas y conglomerados indican el comienzo del tectonismo y levantamiento rápido, que coincidieron con el principio de la Orogenia Laramide, que debido a sus fuerzas compresionales dieron origen al Domo de Santa María y al Anticlinorio de San Lorenzo, el plegamiento acompañado de fallamiento y fracturamiento tuvieron mucha influencia en el emplazamiento de los cuerpos intrusivos; a esta orogenia le siguió la Tafrogenia Mexicana a partir del Oligoceno hasta el final del Plioceno, que ayudó al emplazamiento de una fuerte actividad volcánica y subvolcánica; debido a los movimientos sobre las fracturas se originó una secuencia de estructuras de horst y grabens hacia el final de la tafrogenia con la formación de una topografía de sierras y valles.

Se determinaron edades por métodos radiométricos de  $33.1 \pm 1.8$  m.a. para el dique de alaskita y de  $33.4 \pm 1.7$  m.a. para el dique de traquita, lo cual los ubica en edad oligocénica, como no hay relación de que se intersecten y son muy similares de composición y edad se piensa que son intrusivos co-magmáticos (Frederik, 1979).

### 3.3.8 HIPOTESIS GENETICA

Los yacimientos de skarn están clasificados como pirometasomáticos y los de vetas como de origen hidrotermal posteriormente sobrepuestas al skarn. La intrusión de los diques provocó un metamorfismo termal (zona de mármol) y químico en las rocas calcáreas adyacentes, con una influencia muy importante sobre la geometría de los cuerpos intrusivos, las fracturas preexistentes.

Las rocas calcáreas contienen estratos con espesor y composición variable lo que las hizo más receptivas a la mineralización, el fallamiento provocó que quedaran en un mismo plano zonas favorables y no favorables, y después con el emplazamiento de la traquita a lo largo de una falla, los fluidos

mineralizantes aprovecharon los contactos fracturados como conductos dejando mineral solamente en las zonas favorables, de esta manera se explica que se encuentran zonas estériles y zonas mineralizadas en contacto en un mismo nivel.

El emplazamiento de la mineralización fue posterior a la formación del skarn con fluidos enriquecidos transportados por medio de los diques debido a su alta porosidad, las estructuras y los controles químico-físicos del skarn y de las zonas de contacto dieron estructuras complejas a la mineralización. El origen de los fluidos mineralizantes es posible que sean el resultado de un proceso de secreción lateral de los sedimentos subyacentes durante los eventos de magmatismo de las últimas etapas de la Orogenia Laramide.

Los controles de la mineralización se consideran dentro de tres categorías:

1.- Controles litológicos.- Los cuerpos del mineral están íntimamente asociados a las estructuras de traquita y con las zonas de tactita.

2.- Controles estructurales.- Las zonas de fracturamiento facilitaron el acceso a los fluidos mineralizantes.

3.- Controles Estratigráficos.- Las rocas más favorables a la mineralización fueron las pertenecientes a las formaciones Cuesta del Cura y Aurora.

### 3.3.9 EJEMPLOS TIPO

La Negra, Querétaro; Concepción del Oro, Zacatecas; Naica, Coah..

### 3.4 VOLCANOSSEDIMENTARIOS

Recientes estudios han indicado que muchos yacimientos se formaron por la acumulación de sulfuros de grano fino que se precipitaron a partir de soluciones con alta temperatura que emanaron del piso oceánico, como se observa en los depósitos de la Dorsal del Pacífico Este, a los 21' N, Cordillera de Juan de Fuca y Rift de Galápagos (Bisshoff, et. al., 1983).

En cuanto al ambiente tectónico, los depósitos volcanosedimentarios ocurren en una amplia variedad. Por ejemplo: depósitos que se presume se formaron en zonas de expansión oceánica y que en la actualidad se asocian a secuencias ofiolíticas, son los yacimientos tipo Chipre, cuyo proceso de

formación es comparable a la presente zona de actividad geotermal en la dorsal del Pacífico Este. Muchos de los depósitos tipo Kuroko (Sato, 1974), donde la precipitación de sulfuros ocurre en terrenos volcánicos en el margen de los continentes, producida por la colisión de placas como sugiere Harley (1979); se puede aplicar el modelo de caldera resurgente en un ambiente marino para la formación de sulfuros de Zn-Pb-Cu para el Distrito de Bathurst, Canadá, en el escudo canadiense, los depósitos volcanosedimentarios ocurren en terrenos arqueanos, predominantemente volcánicos; sin embargo, los procesos tectónicos son pobremente conocidos.

Sawkins (1976) y Mutehinson (1972) han desarrollado esquemas de clasificación para los depósitos de sulfuros masivos basados en su composición química naturaleza de las rocas asociadas, edad y relación del ambiente tectónico con la composición de la roca adyacente, se ha generalizado que los depósitos de Zn-Pb-Cu ocurren en rocas volcánicas félsicas y sedimentarias y los depósitos de Cu-Zn ocurren en rocas volcánicas máficas.

#### 3.4.1 PARAGENESIS

La asociación paragenética de los minerales se conoce debido a los estudios practicados con minerales procedentes de la franja mineralizada de yacimientos volcanogénicos próximos y distantes, se encuentra en el dominio arco insular, al borde de la plataforma Morelos Guerrero y su importancia radica en la existencia de depósitos como el de Campo Morado, Suriana y Rey de la Plata.

Los sulfuros encontrados ahí muestran que son piritita, esfalerita, calcopirita, galena, tetraedrita, arsenopirita, marcasita, pirrotita y como mineral de ganga el cuarzo. No se reporta barita asociada a los sulfuros masivos. Los espesores que muestran los sulfuros llegan a ser hasta de 60 y tienen una inclinación de entre 10° y 75° al SW un zoneamiento está presente en los cuerpos de sulfuros masivos pues los cocientes metálicos Au-Ag y Pb-Zn, tienden a acumularse en las zonas del alto los cuerpos de Campo Morado pertenecen a una clase de depósitos minerales caracterizados como extratiformes polimetálicos, genéticamente relacionados a rocas volcánicas félsicas.

El Cuerpo Rey de la Plata y el Cuerpo Tehuixtla, se comportan como una serie de lentes y bandas de sulfuros masivos dentro de un horizonte arcilla-piritita con trazas de mineral. La paragénesis está formada por esfalerita, piritita así como contenidos menores de galena, calcopirita, tetraedrita y sulfosales respectivamente. En el Cuerpo Tehuixtla se presenta una mayor riqueza en Zn y una sensible disminución en valores de Ag.

El zoneamiento horizontal de Azulaques indica un aumento de Pb-Zn y disminución de Fe-Cu hacia el NW, lo que sugiere una fuente exhalativa al SE. El zoneamiento con respecto a yacimientos cercanos al área (Rey de Plata y Campo Morado) hace pensar en una fuente localizada al SW hacia donde disminuyen los valores de Pb-Zn y aumentan los de Fe-Cu.

La cloritización presenta una coloración verdosa; ocurre tanto en el Esquisto Taxco como en la Roca Verde de Taxco Viejo, aunque con mayor intensidad en la última; también se puede atribuir a procesos hidrotermales y a un metamorfismo de bajo grado.

#### 3.4.2 ALTERACION SUPERGENICA

Las principales alteraciones que afectaron a las rocas en estudio son cuatro, sobre todo las que pertenecen al Esquisto Taxco, de la siguiente manera:

- Sericitización.- Se presenta sobre todo en las rocas metavolcánicas derivadas de tobas. Su origen es debido a un metamorfismo regional de bajo grado y a un hidrotermalismo posterior al metamorfismo.

- Silicificación.- Se manifiesta por una fuerte compactación de los minerales constituyentes de la roca; se origina una estructura compacta que está presente en el Esquisto Taxco y en mayor escala en la Roca Verde Taxco Viejo. Es originada por procesos hidrotermales y por metamorfismo de bajo grado.

- Oxidación.- Se considera como una alteración supergénica y se manifiesta por la coloración rojiza; se presenta, sobre todo, en las rocas metavolcánicas del Esquisto Taxco; como producto de esta alteración se tiene la presencia de limonita y hematita. También se observa en afloramientos aislados, no muy grandes, lo cual revela la distribución heterogénea de esta alteración que se debe a fenómenos supergénicos.

#### 3.4.3 IMPORTANCIA ECONOMICA

La importancia económica de la región radica en la ocurrencia de grandes yacimientos volcanogénicos entre los que destacan Campo Morado, Suriana y Rey de Plata, todos en el Estado de Guerrero.

En el período de 1903 a 1910, la mina Reforma en el Distrito Minero de Campo Morado produjo 125.2 ton de Ag, 3.9 ton Au y 4.157 ton de Pb de la zona de enriquecimiento supergénico. En el

período de 1973 a 1977, se desarrolló un programa de explotación que obtuvo los siguientes resultados: 6 millones de toneladas con leyes de 1.2 g/ton de Au, 112 g/ton de Ag, 1.07% Pb, 3.12% Zn, 0.68% Cu. En la mina Suriana, en 1927 se producían 300 ton/día con 9 g/ton de Au y 690 g/ton de Ag. Otro yacimiento importante que ha sido desarrollado en esta provincia, en los últimos años, es Rey de Plata. El tonelaje estimado alcanza 1.7 millones de ton con leyes de 0.8 g/ton de Au, 275 g/ton de Ag, 1.7% Pb, 7.8% Zn y 0.3% Cu. Han sido localizados los yacimientos de menores dimensiones como Tizapan; otros pequeños como Santa Rosa, Tlanilpa, etc., pero, aparentemente no tiene la importancia económica de los mencionados anteriormente. En resumen, algunos de los yacimientos volcanogénicos contenidos en la franja mineralizada fueron explotados desde el siglo pasado. De los yacimientos discutidos tan solo Campo Morado y Suriniana produjeron cerca de 8.5 millones de toneladas con leyes del orden de 1.2 a 5.8 g/ton de Au y 112 a 1785 g/ton de Ag. En el resto de los depósitos citados, la explotación fue a muy baja escala y no se extrajeron más de 20,000 toneladas. Estudios exploratorios desarrollados dentro de esta provincia en los últimos años, sugieren la existencia de 15 millones de toneladas con leyes del orden de 0.8 a 2 g/ton de Au, 112 a 300 g/ton de Ag y un combinado de 4 a 8% de Pb-Zn.

#### 3.4.4 LITOLOGIA

En la región comprendida entre la provincia del Eje Neovolcánico y la Cuenca del Río Balsas, aflora una secuencia volcanosedimentaria compleja de edad Jurásica Superior/Cretácico Inferior, propia de un ambiente de arco insular/mar marginal. La secuencia está formada por esquistos con interdigitaciones de rocas félsicas y de rocas sedimentarias alteradas (Campa, 1974).

Dentro de esta secuencia se han determinado varias unidades que han sido correlacionadas entre sí: Secuencia Volcanosedimentaria Teloloapan/Ixtapan de la Sal (Campa, 1974), Complejo Tierra Caliente (Ortega, 1981), Formación Ayotuzco (Díaz, 1980), Formación Angas (Pantoja, 1959), Conjunto Petrotectónico de Zihuatanejo, Guerrero-Coalcomán, Michoacán (Vidal, 1980), Formación San Lucas (Pantoja, 1959) y conjunto Huetamo-Cutzamala (Campa, 1980).

En resumen, la litología está constituida por rocas volcánicas submarinas de composición andesítica-dacítica y lentes riolíticos interdigitados con lutitas y areniscas, así como secuencias calcáreas; todas estas se encuentran afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado, de edad Jurásica Superior-Cretácico Inferior (Campa, 1974).

Durante el Paleoceno-Eoceno, debido a una emersión regional, se formaron capas rojas en cuencas favorables. La actividad ígnea



del Oligoceno-Superior-Mioceno está representada por lavas riolíticas-dacíticas con textura fluidal, esferulítica y porfídica juntamente con tobas y lahares asociadas a depósitos de Ignimbritas. Recibe los nombres de Grupo Tilzapotla y Grupo Buenavista. Finalmente, se encuentran las manifestaciones volcánicas pliocuaternarias de composición basáltico-andesíticas que originaron el Eje Neovolcánico.

#### 3.4.5 ESTRUCTURAS

Los cuerpos mineralizados consisten en mantos cuya potencia varía de 0.10 a 0.45 m; sin embargo, los intervalos de pizarras negras entre estos, contienen valores aceptables, por lo que se puede estimar un potencial explotable de un mínimo de 2.0 m; a veces, se observa un potencial hasta de 4.0 m.

Su forma tiende a ser lenticular y en rosario o salchicha pero conserva siempre su paralelismo con la foliación.

Debido a los procesos metamórficos a que fueron sometidos los cuerpos mineralizados, microscópicamente no se alcanza a distinguir su textura original; las características observables son el resultado de procesos posteriores de metamorfismo y diagénesis.

#### 3.4.6 ROCAS IGNEAS VECINAS

La mineralización volcano-sedimentarias en muchos lugares del mundo coincide con cambios en el tipo de volcanismo o sedimentación, tales depósitos ocurren en el contacto entre diferentes tipos de roca, porfídicas y/o piroclásticas con lutitas, andesitas y basaltos; otros depósitos pueden localizarse en un tipo de roca volcánica.

#### 3.5 MISSISSIPPI VALLEY

Los yacimientos tipo Mississippi Valley se presentan siempre encajonados en rocas calcáreas y pertenecen a la clase de los depósitos estrato-asociado (strata-bound). Son una fuente importante de plomo y zinc a escala mundial; los yacimientos más grandes de este tipo se localizan en U.S.A., Canadá, Europa y Africa del Norte (fig. 3.5.a). Las primeras áreas reconocidas fueron la región de los Alpes, Silesia y Cracovia así como algunas zonas del Valle del Mississippi; y a esta región deben su nombre.

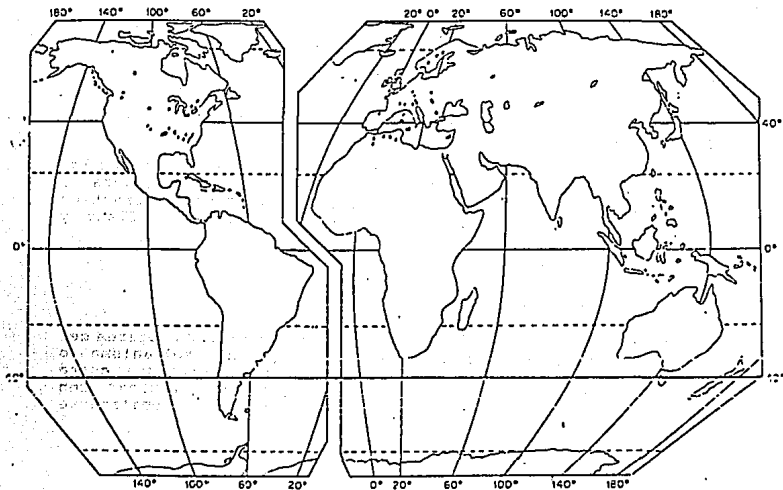


Fig. 3.5.a Distribución de los mayores depósitos de plomo-zinc en calizas, y las áreas de ocurrencia por todo el mundo.

Estos depósitos tienen una amplia distribución en el tiempo; sin embargo en el Precámbrico no son muy conocidos. Los principales yacimientos se encuentran en sedimentos que varían del Paleozoico Inferior hasta el Mesozoico Superior. La gran mayoría de estos yacimientos se presentan en rocas carbonatadas y una pequeña proporción en rocas arenosas y arcillosas; comúnmente la roca calcárea es un arrecife (bioherma), una brecha retrabajada o una calcarenita en las partes marginales de un arrecife. Son más frecuentes en las calizas dolomitizadas y en las dolomías que en las calizas puras.

### 3.5.1 PARAGENESIS

La mineralogía consiste principalmente de esfalerita, galena subordinada a la primera, barita, fluorita y con una cantidad menor de wurtzita, marcasita, pirita y calcopirita. También se han identificado la enargita y la millerita.

Los minerales de mena son: esfalerita, galena y fluorita.

Los minerales de ganga presentes son: cuarzo, pedernal, calcita, aragonita, dolomita, barita y algunas veces siderita, ankerita y sílice coloforme.

En los yacimientos tipo Mississippi Valley se pueden distinguir 3 subtipos en la mineralogía básica entre los distintos distritos mineros.

#### i) SUBTIPO DEL ZINC

El mineral principal es la esfalerita con poca cantidad de galena la cual se presenta pobre en plata. El cobre se presenta subordinado al zinc y plomo y más comúnmente se haya como calcopirita.

#### ii) SUBTIPO DEL PLOMO

La galena es el mineral que predomina, presenta bajo contenido de plata, la esfalerita es el mineral que le sigue en importancia económica y contiene galio, cadmio e indio.

#### iii) SUBTIPO DEL FLUOR

La fluorita es el mineral principal, la esfalerita se haya como el sulfuro predominante y contiene germanio y cadmio, la galena está subordinada a la esfalerita.

Los minerales se presentan en una secuencia bien definida.

La esfalerita es de color claro con bajo contenido de hierro, manganeso y alto contenido de cadmio, la greenockita se haya ocasionalmente como accesorio.

### 3.5.2 ALTERACION SUPERGENICA

Todos los yacimientos tipo Mississippi Valley presentan halos de alteración de baja temperatura. Los más comunes son la dolomitización y solución de la roca encajonante, aunque también se presenta la silicificación y la piritización. En suma estos patrones son metasomáticos y los cuales incluyen  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  (Heyl, 1983 en Beales, 1975).

De los minerales producto de la alteración supergénica únicamente se presenta y como mineral subordinado la wurtzita.

### 3.5.3 IMPORTANCIA ECONOMICA

A escala mundial los yacimientos tipo Mississippi Valley son una de las fuentes más importantes de plomo y zinc; para argumentar lo anterior se describirán algunas producciones de varios distritos, así como el grado de cada metal en sus diferentes minerales.

Distrito Sureste de Missouri, llamado "cuerpo de plomo" es uno de los grandes distritos del mundo y que ha producido más de 9,000,000 de ton de plomo en lingotes.

El Distrito Tri-State, que se localiza en los límites de los estados de Kansas, Missouri y Oklahoma, abarca un área de 5,000  $Km^2$  y aporta unos 2,000 millones de dólares en metales de plomo y zinc.

El Distrito Pine Point, se localiza en los territorios del Noroeste del Canadá donde se han estimado unas reservas de 3,175,000 ton con 2.9% de Pb y 9.1% de Zn.

El Distrito de San Vicente, en el Perú. Este distrito produce 3,000 toneladas métricas por día y es el mayor productor de zinc del Perú. Tiene una producción acumulada de 6 millones de toneladas métricas, las reservas exceden los 5.1 millones de toneladas métricas con valores de plomo de 0.8% y de zinc de 12.6%.

### 3.5.4 LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

Los yacimientos del tipo Mississippi Valley son muy característicos del Fanerozoico (Stanton, 1972 en Nieto, 1979), aunque es de notar que se encuentran sulfuros metálicos encajonados en rocas calcáreas del Precámbrico.

Badham (1981 en Nieto, 1979) explica que los carbonatos arrecifales del Fanerozoico consisten de detritos coralinos con una alta porosidad primaria acentuada por una dolomitización posterior. En cambio los carbonatos del Precámbrico son comúnmente estromatolitos y algunas veces con una dolomitización primaria, y como consecuencia presentan menor porosidad por lo cual son muy poco factibles de acumular a los fluidos minerales.

### 3.5.5 ESTRUCTURAS

A una escala local se observa que estos depósitos ocurren en pocas unidades de la sucesión calcáreo-arrecifal. Se presentan en estructuras tales como arrecifes y zonas de cambio de facies, estructuras de compactación, en acunamientos estratigráficos, brechas de deslizamiento, de colapso y en brechas de disolución debidas a topografía karst (fig. 3.5.5.a). La forma de las masas de los sulfuros es muy variable en algunos casos la mena es estratiforme en una escala de centímetros, más comúnmente se encuentra como un enrejado de vetillas, cavidades alineadas y como material cementante en las brechas de colapso o de deslizamiento.

### 3.5.6 ROCAS IGNEAS VECINAS

Generalmente se presentan intrusiones alcalinas, las cuales no tienen o presentan una relación directa con este tipo de yacimientos.

### 3.5.7 HISTORIA GEOLOGICA

Los yacimientos del tipo Mississippi Valley presentan una distribución geográfica restringida. Dunmore y Shearman (1987 en Nieto, 1979) han demostrado que las rocas calcáreas encajonadas se depositaron en el Fanerozoico en latitudes 300 Norte y Sur del paleoecuador.

Como las rocas calcáreas predominan sobre las rocas arenosas y arcillosas y estas son principalmente arrecifes, brechas retrabajadas o calcarenitas, entonces la distribución de estos yacimientos está controlada por las antiguas líneas de costa, por la topografía del fondo marino antiguo y por el clima Lznicka (1976 en Nieto, 1979). Estos yacimientos se localizan en ambientes intracratónicos asociados a un incipiente rift.



### 3.5.8 HIPOTESIS GENETICA

En estudios isotópicos realizadas con el plomo y el zinc en varios yacimientos Mississippi Valley indican que las salmueras con sulfuros tienden a favorecer sólo algunos horizontes o facies particulares y a estar ausentes del resto de las masas carbonatadas.

Las grandes fallas de escala regional pueden o no estar asociadas a estos yacimientos.

Por estudios realizados en inclusiones fluidas que dan rangos de temperatura de formación de 100° a 150°C y que muy rara vez sobrepasan los 200°C y es mucho más común que sean menores de 100°C. Algunas de las inclusiones fluidas presentan altos contenidos de metales pesados, los principales sulfuros son de plomo y zinc (con hierro) el cobre está ausente.

La roca encajonante contiene materia orgánica y las fronteras de los granos de sulfuros son del tipo acrecional y de choque.

Stanton (1972 en Nieto, 1979) considera estos hechos y concluye que las principales posibilidades de su origen son:

#### I) SEDIMENTARIA

- a) Precipitación directa a partir de el agua de mar.
- b) Precipitación de exhalaciones submarinas
- c) Sedimentación detrítica.
- d) Movimiento de sedimentos de los líquidos en los espacios porosos durante la compactación y la subsecuente redepositación.
- e) Cualquiera de las arriba anotadas, con modificación diagenética incluyendo el desarrollo de vetas, masas reemplazadas y el crecimiento de cristales.

#### II) ACTIVIDAD DE SOLUCIONES EXOGENICAS

- a) Soluciones ígneas.
- b) Otras soluciones portadoras de metales de origen profundo.

Sería erróneo querer aplicar sólo alguno de estos acontecimientos y se puede aceptar la conclusión de Stanton, 1972, de que a pesar de la gran variedad de eventos, sólo alguno de estos o la conjugación de varios son los responsables de la formación de este tipo de yacimientos. No se puede atribuir su origen a uno sólo de ellos. La interrogante más inquietante es la ausencia de yacimientos de cobre en rocas calcáreas.

### 3.5.9 EJEMPLOS TIPO

Distrito Pine Point, Canadá (Provincia del Esclavo)

Distrito de San Vicente, Perú (Perú Central).

Distrito Tri-State, U.S.A. (región limítrofe entre los estados de Missouri, Kansas y Oklahoma).

Distrito el Alto del Valle de Mississippi, U.S.A.

### 3.6 SEDIMENTARIO

Las rocas de la superficie de la corteza terrestre se ven sujetas a los fenómenos de intemperismo, de esta manera se crean los materiales sedimentarios; así mismo la meteorización y oxidación actúan sobre los depósitos minerales anteriores, además éstos últimos pueden estar sujetos a una actividad orgánica. La depositación de los sedimentos ocurre en el fondo de los ríos, lagos, pantanos y mares que a la postre pueden dar origen a las mineralizaciones de plomo y zinc diseminado en los horizontes de las lutitas piríticas. El intemperismo puede ser de tipo mecánico, químico o bioquímico según el fenómeno que predomine.

#### 3.6.1 PARAGENESIS

Para la mineralización de plomo y zinc estudiada en la Formación Newland la esfalerita es el más común de los sulfuros y se haya diseminada a lo largo de los horizontes de lutitas piríticas de esta formación, se presenta xenomórfica, los granos tienen contornos irregulares con tamaños que están en el rango de  $1-200 \mu \pm 10 \mu$ , en algunos sitios la esfalerita presenta inclusiones de minerales silicatados que indican un reemplazamiento o coprecipitación.

Los granos de galena son de morfología similar a la esfalerita pero mucho menos abundante, la pirita se presenta en cinco tipos siempre con la misma sucesión en los horizontes de lutitas piríticas, pero por encima de éstas la generación de la pirita es incompleta.

Pirita A: cristales finos ( $1-10 \mu$ ), de color amarillo blanquecino.

Pirita B: se presenta en los bordes de la pirita A; es de color amarillo oscuro, ( $1-10 \mu$ ).

Pirita C: de hábito fibroso radial y como esférulas (costras de



5-30  $\mu$ ). Y la Pirita D: se presenta como sobrecrecimiento en los bordes así como en hojas radiales (10-50  $\mu$ ).

Pirita E: comúnmente son cristales euedrales (2 mm) como cubos simples o agrupados y como sobrecrecimientos de las piritas anteriores de color amarillo.

La calcopirita es muy rara y siempre asociada con la pirita como sobrecrecimientos en la pirita C y E, también reemplaza a la pirita preexistente.

Los minerales de mena que se hayan finamente diseminados dentro de los sedimentos son: la esfalerita, galena, bornita, calcocita, pirita, calcopirita y cobre nativo, menos frecuente plata nativa, argentita, además de algunos elementos que entran en la composición de los minerales de mena como son: el vanadio, molibdeno, níquel, platino, paladio y como minerales de ganga: la calcita, anhidrita, cuarzo, calcedonia y las arcillas. Los sedimentos de la Formación Newland presentan una secuencia bien definida de minerales diagenéticos que incluyen pirita, esfalerita, galena, calcopirita, sílice, dolomita y calcita; esta paragénesis se observa en todos los sitios estudiados de la Formación Newland.

### 3.6.2 LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La Formación Newland está compuesta de lutitas, la cual se divide (Nelson, 1963 en Schieber, 1991) en un miembro inferior compuesto por lutitas dolomíticas y un miembro superior formado por una alternancia de lutitas y paquetes de carbonatos; se presenta una zona denominada zona de transición newland (NTZ) que es una arenisca de clastos gruesos y por encima de esta zona se hayan los horizontes de lutitas piríticas. De particular interés son los cauces antiguos de areniscas (subarcosa calcárea) y conglomerados (lutitas y clastos calcáreos en una matriz arenosa).

### 3.6.3 ESTRUCTURAS

Se presentan capas de clastos gruesos, se observan fracturas que en algunos sitios cortan atravesando todo el depósito, éstas se encuentran rellenas de cuarzo, dolomita, esfalerita y galena.

La mineralización ocurre principalmente en láminas de sulfuros concordantes con la estratificación de la formación.

El espesor de la cubierta sedimentaria es de aproximadamente de 1.2 Km (Schieber, 1991). Las mineralizaciones de plomo y zinc en la Formación Newland parecen ser una diseminación intersticial de sulfuros en areniscas que contienen plomo.

### 3.6.4 HIPOTESIS GENETICA

La secuencia en la precipitación de los diferentes compuestos en ríos, pantanos, lagos y mares depende de una serie de factores químicos que incluyen el pH y el Eh del agua, la actividad bacteriana y la reducción de los sulfatos en solución. La concentración mineral se presenta en la diagénesis, específicamente en la sindiagénesis que es donde da inicio la transformación química del limo húmedo saturado de bacterias y la acumulación de componentes menores de la roca intemperizada.

La diagénesis da origen a el equilibrio físico-químico del sedimento primario inestable en condiciones termodinámicas del fondo de la cuenca.

Para el estudio de la génesis de esta mineralización se realizaron análisis lo bastante precisos de las siguientes características:

- el espesor de la cuenca rellena (1.2 Km, Schieber, 1991) lo cual implica altas temperaturas.
- la liberación de los metales durante la transformación esmectita-illita (Lydon, 1986 en Schieber, 1991).
- el incremento en la solubilidad de los metales básicos de la salmuera de la cuenca (Carpenter et. al., 1974 en Schieber, 1991).
- incremento de la presión de poro y del potencial así como el mismo episodio de la expulsión del fluido (Sawkins, 1984 en Schieber, 1991).
- el gradiente geotérmico de 3°C/100 m.

La base de la sección bajo la zona de transición de la Formación Newland se haya dentro del intervalo de 30° a 60°C, considerablemente bajo para la liberación de los metales por la conversión esmectita-illita que necesita cerca de los 90°C (Lydon, 1986 en Schieber, 1991), esto más bien fue una de las causas por la cual se carece de grandes cuerpos minerales en la Formación Newland.

En resumen, los depósitos de la mineralización de plomo y zinc diseminado en las lutitas piríticas es de origen totalmente diagenético y la cual estuvo controlada por la porosidad primaria y muy independiente de las características propias de las lutitas piríticas.

### 3.6.5 EJEMPLOS TIPO

Lutitas piríticas de la Formación Newland, Cuenca Helena, Montana, U.S.A.

### 3.7 BIBLIOGRAFIA

- Ambriz Montenegro, Doroteo, 1979. Geología y yacimientos minerales de la Mina Santa María en Velardeña, Dgo. Mem. XIII. Conv. Nal. AIMMG. M.
- Anderson, G.M., 1975. Precipitation of Mississippi Valley Type Ores. Economic Geology, Vol. 70.
- Anderson, G. M. y Macqueen, R. W., 1987. Mississippi Valley Type Lead-Zinc deposits. Geoscience, Canada, Vol. 9, No. 2.
- Beales, F. W., 1975. Precipitation Mechanisms for Mississippi Valley Ore Deposits. Economic Geology, Vol. 70
- Callahan, W. H., 1967. Some Spatial and Temporal Aspects of The Localization of Mississippi Valley Type Ore Deposits, In Brown, J.S., ed Genesis of Stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite Deposits. Economic Geology, Monograph 3.
- Cathles, L. M. and Smith, A. T., 1983. Thermal Constraints on the Formation of Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits and Their Implications For Episodic Basin Dewatering and Deposit Genesis. Economic Geology, Vol 78.
- Cepeda D., Leovigildo, 1985. Apuntes de petrología metamórfica. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Colorado, Daniel, 1982. Yacimientos paleokársticos Mexicanos. Gerencia de Estudios Especiales, C. R. M.
- Cumming, G. L.; Kyle, J. R. and Sangster, D. F., 1990. Pine Point: A case History of Lead Isotope Homogeneity in a Mississippi Valley Type District. Economic Geology, Vol. 85, No. 1
- Custodio, E. y otros, 1976. Hidrología Subterránea. Ed. Omega, S. A. España.

- Chavira Q., José J. y Osoria H., Amador, 1987. Minas Mexicanas. Tomo 3. Ed. Jorge E. Ordoñez Cortéz. México.
- Dunmore, H. and Sheraman, D. J., 1977. Mississippi Valley-Type lead-zinc ore bodies: a sedimentary and diagenetic origin, in Garrard. P. ed., Proceedings of the forum on oil and ore in sediments; Imperial College, London, England.
- Einadi, M. T. y Burt D. M., 1982. A special Issue devoted to skarn deposits. Economic Geology and Bull. Soc. Econ. Geol. Vol. 17, No. 4.
- Einaudi, M. T.; Meinert, L. D.; Newberry, R. J., 1981. Skarn Deposits. Economic Geology 75 th Anniversary Volume.
- Felder Frederick, 1979. Estudio de algunas estructuras mineralizadas en el Domo de Santa María, Velardeña, Dgo. Mem XIII Conv. Nal. AIMMG. M.
- Fontboté Lluís and Gorzawski H., 1990. Genesis of the Mississippi Valley Type Zn-Pb Deposits of Sn Vicente, Central Perú: Geology and Isotopic (Sr, O, C, S, Pb) Evidence. Economic Geology, vol 85.
- Geyne, A. R.; Carl Fries, Jr.; Kenneth Segerstrom; Black, R. F.; Wilson, I. F., 1963. Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca Real del Monte, Estado de Hidalgo, Mexico. Publicación 5E del CRNNR.
- González Gallardo, José A., 1985. Formación, clasificación de los yacimientos de skarn y su relación con la tectónica de placas. Fac. de Ingeniería, UASLP. Trabajo final.
- Mapes V. E.; Zamora M., S. y Gerónimo G., J., 1964. Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Concepción del Oro y Avalos Zacatecas. Publicación 10E del CRNNR.
- Nieto, O. J., 1979. Los yacimientos de Pb-Zn, Tipo Mississippi Valley, sus características y ubicación tectónica. Inédito.

Ohle, E. L., 1980. Some Considerations in Determining The Origen of Ore Deposits of the Mississippi Valley, parte II, Economic Geology, Bulletin of the Society of Economic Geologists, vol 75, No. 2.

Routheir, P., 1980. OI sont les métaux porl avenir'P: Recherches Geol. Min. Mém. Vol. 105.

Schieber, J. y Verlang. 1991. The origen and economic potencial of sanstone-hosted disseminated Pb-Zn mineralization in pyritic shale horizons of the Mid-Proterozoic New-land Formation, Montana, U.S.A. Mineral Deposita No. 26.

Stanton, R. L., 1972. Ore Petrology. Mc Graw-Hill Book Company, 1st edition.

## **CAPITULO 4. Prospección Geológica**

**4.1 Guías fisiográficas y paleogeográficas**

**4.2 Guías litológicas y estratigráficas**

**4.3 Guías mineralógicas**

**4.4 Guías estructurales**

**4.4.1 Mantos y Chimeneas**

**4.4.2 Volcánicos**

**4.4.3 Pirometasomáticos (Skarn)**

**4.4.4 Vulcanosedimentarios**

**4.4.5 Mississippi Valley**

**4.4.6 Sedimentarios**

**4.5 Guías geoquímicas**

**4.6 Bibliografía**

#### 4. PROSPECCION GEOLOGICA

La prospección de yacimientos minerales es la técnica que consiste en la búsqueda sistemática de materiales específicos que llevan al descubrimiento de un depósito; por medio de observaciones y métodos científicos, el prospector trata de localizar nuevos yacimientos minerales e incrementar las reservas de los ya conocidos.

Los elementos del conocimiento científico aplicados en esta búsqueda serán:

- 1).- Marcos geológicos característicos.
- 2).- Conocimiento de ejemplos conocidos para hacer reconstrucciones de estructuras minerales y poder aplicar experiencias y conocimientos en nuevas zonas; así mismo poder realizar interpolaciones y extrapolaciones.
- 3).- Búsqueda de guías para asumir modelos. (Neueburg, 1985).

El análisis cubre un amplio campo de estudio de tipo geológico, geoquímico, geofísico que se complementa con estudios de laboratorio. Esta búsqueda depende del conocimiento de guías o criterios científicos para el reconocimiento de un material en particular, para esto se tiene una clasificación de guías geológicas que pueden llevar al éxito de la prospección.

1.- Guías fisiográficas y paleogeográficas.- Son los rasgos en el relieve superficial como lomas, escarpes, red fluvial, etc., que pueden indicar alguna anomalía.

2.- Guías litológicas y estratigráficas.- Son las rocas o formaciones asociadas directa o indirectamente a los depósitos minerales y que auxilian para su localización.

3.- Guías estructurales.- Son los rasgos estructurales tales como plegamientos, fracturamientos, fallas, etc., que pueden ayudar a localizar una mineralización.

4.- Guías mineralógicas.- Asociación de minerales que indican un depósito.

5.- Guías geoquímicas.- Son los criterios basados en la dispersión de los elementos en cantidades pequeñas de los elementos en la corteza terrestre.

6.- Prospección geofísica.- Comprende los métodos que se basan en las propiedades físicas de los minerales y rocas. Por ejemplo, la pirrotita es una buena guía debido a su magnetismo para hacer una prospección por magnetometría.



#### 4.1 GUIAS FISIOGRAFICAS Y PALEOGEOGRAFICAS

Para la búsqueda de depósitos minerales se usan criterios de prospección basados en factores naturales como son las condiciones estructurales y geológicas que directa o indirectamente sugieren la presencia de ellos.

Uno de estos criterios es la fisiografía de la región ya que por medio de la topografía y la geomorfología se pueden encontrar evidencias de los yacimientos. Para llevar a cabo un análisis fisiográfico, se hace en grandes áreas con el fin de determinar con diversos parámetros las zonas más recomendables para llevar a cabo estudios a detalle.

Existen afloramientos de depósitos que son topográficamente notables a distancia, como vetas resistentes elevadas y largas, algunas de ellas son lixiviadas y entonces aparecen como depresiones en el relieve, hay gossans que forman prominentes elevaciones de roca firme como el de Broken Hill de Australia (Yacimientos de Pb-Zn); esto puede tomarse como una evidencia directa en las guías fisiográficas.

Las evidencias indirectas como son las expresiones topográficas en el terreno donde, se pone mayor atención son: escalones tectónicos, lomas, cuestras, depresiones, pueden reflejar condiciones favorables de zonas mineralizadas, aunadas con el tipo de yacimiento, rocas asociadas, clima e historia geomorfológica.

Se pueden aplicar conceptos geomorfológicos en el caso de la configuración fluvial.

Los yacimientos asociados a formas volcánicas se pueden estudiar a partir de su expresión topográfica que manifieste las formas volcánicas y que se asocian a yacimientos que se pueden estudiar a partir de la expresión topográfica que manifiestan, como por ejemplo, en las calderas las mineralizaciones se pueden presentar en la superficie desplomada y en las zonas de fracturas.

Cada roca presenta características particulares que las distinguen de las demás, aún siendo modificadas por el intemperismo y tectonismo, las formas que representan revelan las estructuras internas y forman el relieve topográfico de la corteza terrestre.

A continuación se hace un resumen del relieve y drenaje que presentan los principales tipos de rocas en los que se encuentran la mayoría de los yacimientos de Pb-Zn.

## I.- ROCAS SEDIMENTARIAS

a) Calizas.- En general ofrecen una topografía abrupta con drenaje dendrítico y rectilíneo; en climas tropicales la topografía es kárstica.

b) Areniscas.- Desarrollan sistemas perpendiculares de fracturamiento, normales a los planos de estratificación que producen un drenaje tipo rectangular, cuando está intercalada con lutitas y calizas las areniscas sobresalen por su mayor resistencia a la erosión. El drenaje está poco integrado, con densidad débil, no uniforme, orientado y controlado por fallas.

c) Lutitas.- El drenaje que presenta es de tipo dendrítico, bien integrado, uniforme y bastante denso, orientado y muy raras veces controlado, debido a su estructura deleznable y textura homogénea de grano fino.

## II.- ROCAS IGNEAS

a) Intrusivas.- Forman domos con laderas de pendientes pronunciadas y cimas arredondadas, drenaje tipo dendrítico bien integrado, uniforme, de densidad débil y no orientado, los cauces son poco profundos y tienen sección redondeada; en climas áridos éstas rocas presentan gran fracturamiento.

b) Extrusivas.-

b.1) Riolitas.- Su morfología no es uniforme algunas veces forma masas lávicas bulbosas alineadas y otras domos volcánicos aislados, su estructura fluida produce capas más o menos uniformes y pseudoestratificadas, el drenaje es regular curvilíneo, con cauces en forma de horquilla, orientado hacia la dirección de mayor pendiente. El drenaje es más intenso que en los basaltos en condiciones de clima similar.

b.2) Basaltos.- Topografía plana formando mesetas o abrupta cuando se encuentra en las estribaciones de montañas; ya que su resistencia al intemperismo es débil, sufre derrumbes que se pueden identificar por sus paredes verticales, formando en su base taludes de roca caída. El drenaje puede ser paralelo o carecer de él debido a su carácter permeable, que hace que el agua se filtre a través de ellos. A diferencia de las riolitas, los basaltos forman grandes espesores de suelo que cubren la roca, en condiciones de clima similares.

b.3) Dacitas y andesitas.- Debido a su composición intermedia entre riolitas y basaltos, sus características se asemejan a cualquiera de los dos de acuerdo a su composición.

b.4) Tobas.- Desarrollan pendientes suaves, modelo de drenaje dendrítico de densidad moderada.

### III.- ROCAS METAMORFICAS

Esquistos y gneises.- Presentan lomeríos alargados y orientados, con un lado de pendiente fuerte y otro suave debidas a la orientación de los planos de esquistosidad de la roca. Los cauces de los ríos son profundos y en forma de V.

Las estructuras como fallas y fracturas producto de fenómenos tectónicos, infieren al relieve topográfico una morfología diferente y modifican el modelo y el gradiente del drenaje. A las fracturas se les puede identificar por la dirección recta que siguen a través de cualquier forma topográfica. Las fallas debido al desplazamiento que han tenido producen una zona de debilidad que provoca el desmoronamiento de la roca y por consecuencia una depresión.

Debido a que cada roca presenta características muy particulares de relieve, se pueden considerar como anomalías aquellas formas de expresión caótica poco común que no corresponde al patrón antes definido, como por ejemplo:

- Llanura regional de gradiente suave con drenaje paralelo.
- Cambio de tipo o de gradiente de drenaje, sin cambio de pendiente o condición estructural que lo justifique.
- Convergencia hacia un punto de varias estructuras, fallas y fracturas en rocas estratificadas.

Los yacimientos minerales de origen epigenético que se presentan como relleno de huecos, fracturas y fallas se pueden inferir por los rasgos que presentan en la superficie, que pueden ser: bandas paralelas, convergentes o curvas con tonalidades diferentes a la roca encajonante, en cualquier posición con respecto a la topografía del terreno y van a corresponder a las zonas de alteración de la mineralización.

Cuando éstas zonas mineralizadas son resistentes a la erosión sobresalen de la superficie, en el caso de que sean menos resistentes que las rocas encajonantes se presentan como una depresión que se puede seguir a través de cualquier forma topográfica, cuando éstas zonas son de gran tamaño se identifican por su estructura anómala y por su vegetación.

Debido a que el origen de éstas mineralizaciones es por actividad ígnea en su mayoría, en las regiones vecinas se encuentran evidencias de intrusiones. Los diques se identifican por su forma tabular, textura y color diferente y mayor resistencia a la erosión que la roca encajonante.

Los yacimientos de origen singenético son difíciles de observar ya que forman parte de la roca, por lo que no alteran su forma particular.

El metamorfismo de contacto forma rocas que pueden contener mineralizaciones singenéticas y a la vez epigenéticas debido a que fractura la roca dando paso a las soluciones mineralizantes.

Las guías paleogeográficas son los rasgos topográficos antiguos que revelan las condiciones en las que se encontraba la zona en un cierto tiempo geológico; la reconstrucción del paleorelieve se hace por medio del estudio de las superficies de erosión en las formaciones sedimentarias, así como con el auxilio de sedimentos correlativos, que analizados bajo las condiciones en las que se encuentran actualmente los yacimientos pueden revelar la existencia de más zonas mineralizadas.

Fisiografía de algunos de los principales yacimientos de Plomo-Zinc.

#### 1.- Santa Eulalia, Chih.

"La Sierra de Santa Eulalia se encuentra dentro de la Provincia Mexicana de Sierras y Valles en un cinturón de rocas preterciarias, plegadas y falladas con rumbo N-NW, limita al W con la Sierra Madre Occidental, al E con la Sierra Madre Oriental, al S con la Mesa Central del Sur. Con una longitud de 20 km y un ancho máximo de 11 km. Elevación de 600 m por encima de los valles circunvecinos a una altura promedio de 1,900 m.s.n.m., truncada en su extremo poniente por una falla N-NW con echado al W y un desplazamiento de por lo menos 1 Km.

La sierra es drenada por arroyos intermitentes que corren hacia los valles de "Dolores y Tabalaopa" desembocando al Río Chuviscar que es el tributario del Río Conchos, siendo la geometría del desagüe rectangular y dendrítico, la topografía del terreno es suave en general con algunas barrancas profundas en las calizas -150 m- y cañadas amplias en las sierras de rocas terciarias". (Peña, 1986).

#### 2.- Zimapán, Hgo.

Se encuentra en el Altiplano Mexicano. Los principales rasgos fisiográficos son: La Sierra "El Monte", el Abanico Aluvial de Zimapán y el Río Tolimán afluente del Moctezuma y límite geográfico entre Querétaro e Hidalgo.

La Sierra El Monte está orientada E-W de altitud máxima de 2,720 m.s.n.m., forma el flanco norte del Valle de Zimapán, se continúa hacia el oriente con lomeríos volcánicos hasta el Puerto de la Estancia.

Hacia el Oeste la sierra está cortada por la barranca del Río Tolimán, estando bordeada por fuertes acantilados.

### 3.- San Francisco del Oro, Chih.

Se encuentra en el límite de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y de la Mesa Central, su elevación es de 2,018 m.s.n.m., la fisiografía del área corresponde a una topografía abrupta al norte y suave hacia el sur.

### 4.- Santa Bárbara, Chih.

La Sierra de Santa Bárbara presenta un sistema de montañas con pendientes suaves y mide cerca de 40 km de longitud por 15 km de ancho con rumbo general de N30°W; su elevación promedio sobre el nivel del mar es de 2,200 m sobresaliendo de los valles vecinos en 300 ó 400 m.

El drenaje es de tipo dendrítico y lo constituyen arroyos tributarios del Río Parral, que a su vez es afluente del Río Conchos.

### 5.- Velardeña, Dgo.

Se encuentra en el quiebre occidental de la sección transversal de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, consiste de plegamientos de una serie de sedimentos clásticos y quínicos con espesor de + 3,500 m. Pendientes con fuertes elevaciones que varían desde 1,400 m hasta 2,300 m.s.n.m.; forman extensos valles en sus partes bajas, el drenaje que presenta la zona es de tipo dendrítico.

Es un domo con dimensiones de 6.5 X 4 Km que presenta diques que lo intrusionan y fracturan..

### 6.- La Negra, Qro.

El Distrito Maconí - El Doctor - Santo Entierro se encuentra en la Provincia de la Sierra Madre Oriental en el borde occidente de la misma llamada Subprovincia de Sierras Altas.

Geomorfológicamente la provincia corresponde al tipo de Montañas Plegadas en una etapa del ciclo erosivo parecida a la madurez, el Río Moctezuma es una corriente superpuesta y existen remanentes de superficie erosional antigua cubierta de aluvión.

"Locamente el relieve está dominado por el valle del Río Maconí tributario del Río Moctezuma y es controlado por la litología. Las partes bajas están representadas por las rocas arcillosas de la Fm. Soyatal que presentan un patrón de drenaje dendrítico y el relieve prominente que además es conspicuo está modelado en las calizas de la Fm. El Doctor".

#### 7.- Santa María de la Paz, S.L.P.

La región pertenece a la subprovincia llamada de las Sierras Menores al poniente de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

La región estudiada se encuentra en las estribaciones orientales de una serranía pequeña denominada El Fraile, la que a su vez es un desprendimiento aislado al NE de la Sierra de Catorce, situada al Poniente. Se encuentra a una elevación de 1,858 m.s.n.m.

#### 8.- Charcas, S.L.P.

Se localiza en la provincia fisiográfica de la Mesa Central sobre el flanco oriente del Anticlinorio de San Rafael.

El drenaje de tipo dentrítico está constituido por arroyos intermitentes, el área se encuentra en la etapa de madurez de su ciclo erosivo.

#### 9.- Cuale, Jal.

Se localiza en la provincia fisiográfica de la Meseta del Norte, al W de la Provincia de la Meseta Neovolcánica.

La geomorfología del lugar está dada principalmente por las intrusiones ígneas graníticas que provocaron fracturamiento y fallamiento en las rocas encajonantes, los procesos volcánicos dan lugar a estructuras como derrames lávicos y depósitos de rocas piroclásticas, todo esto se encuentra cambiado por el intemperismo y la erosión fluvial que provocan una topografía de sierras abruptas, con picos altos y profundos barrancos de pendientes de 45° a 70°.

En particular la Sierra de Cuale se encuentra en la etapa juvenil y el drenaje es de tipo dendrítico, con dos cerros que destacan, El Cantón - 2,400 m.s.n.m. y El Caracol - 2,200 m.s.n.m.

#### 10.- Zacualpan, Edo. de Méx.

Borde septentrional de la subprovincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, de relieve montañoso y accidentado, encontrándose en un etapa de erosión joven media.

El drenaje es de tipo rectangular con varios arroyos paralelos.

#### 11.- Real de Angeles, Zac.

Lomeríos arredondados, pequeñas cordilleras y mesas de poco relieve. Arroyos de poca profundidad drenan el área durante la temporada de lluvias, estas aguas desembocan en cuencas cerradas con fondo sensiblemente plano formando lagunas temporales.

El yacimiento se ubica en el centro de una estructura dómica circular de aproximadamente 20 Km de diámetro, además de que se localiza al norte de una pequeña cordillera con rumbo E-O, que constituye el flanco sur de un anticlinal.

#### 12.- Rosario, Sin.

Subprovincia "Estribaciones de Piamonte" de la Provincia Fisiográfica "Serranías Sepultadas".

La zona donde se encuentra la mina se reconoce por dos unidades geomorfológicas. La parte alta de la serranía corresponde a un relieve abrupto que forma acantilados surcados por un drenaje subparalelo controlado por el fracturamiento y fallamiento existentes, mientras que en la parte baja forma suaves pendientes que contrastan con pequeños crestones; su patrón de drenaje es dendrítico.

### 4.2 GUIAS LITOLÓGICAS Y ESTRATIGRAFICAS

Estas guías se refieren a las rocas o conjuntos de rocas (formaciones) que auxilian en la búsqueda de yacimientos minerales.

Para considerar una guía litológica o estratigráfica como tal se tiene que reconocer los lugares dentro de las diferentes rocas con mayor probabilidad de contener la mineralización; esto dependerá de una amplia serie de metalotectones.

En yacimientos epigenéticos donde se presentan abundantes depósitos de Pb-Zn, la mineralización ocurre con mayor facilidad en ciertos tipos de roca, puede seguir fracturas o reemplazar dichas formaciones.

Las rocas favorables a la mineralización pueden ser de origen sedimentario, volcánicas con pseudestratificación o intrusivos de cualquier forma como diques, stocks, etc.; existen condiciones en las rocas que las hacen más fáciles de ser mineralizadas que otras a).- permeabilidad a las soluciones como areniscas, conglomerados, techos vesiculares de lava, rocas fracturadas, b).- reacción química para inducir la precipitación de minerales, c).- fragilidad- rocas ígneas, cuarcitas y dolomitas que contrastan con calizas y lutitas.

ROCAS METALES	A C I D A S		ALCALINAS	ESQUITOS DE MICA FELTAS	LUTITAS	ROCAS BASICAS	ROCAS ULTRABASICAS	CARBONATOS
	EFUSIVAS FIRIDCLAS- TICAS	HYPERUVAS						
Na	_____							
K	_____							
Ca	_____							
Mg	_____							
Fe								
Mg								
Cu	████████	████████	████████					
Pb	████████							████████
Zn	████████							████████
Ag								
Sn	████████	████████	████████	████████				
Hg			████████					████████
Sb	████████	████████						████████
As		████████						
Au	████████	████████		████████		████████		████████

fig. 4.2.a.- Rocas favorables para la depositación de yacimientos hidrotermales y pneumatolíticos (en Ozerov, 1949; en Kusvart y Bohmer, 1978)



Existen rocas en las que se encuentra preferentemente cierto mineral como el caso de las calizas donde el plomo y el zinc es común, las cuarcitas también son buenas portadoras de plomo y zinc, las rocas que contienen cloritas y minerales de composición similar son más receptivas al oro, así como las pizarras y filitas cloríticas. (Mckinstry, 1970).

Sin embargo, la mineralogía y la textura de la roca no son los únicos factores ya que el plegamiento puede contribuir en gran parte a la mineralización, así como su competencia (rocas relativamente fuertes, pero que bajo presiones son quebradizas, ejemplo: cuarcitas, conglomerados, rocas ígneas sin alterar); están sujetas a modificarse en diversas circunstancias, pero tienen la ventaja que al fracturarse forman canales permeables y cuando se rompen forman desmoronamientos que facilita la reactividad química. (fig. 4.2.a).

Una buena guía estratigráfica son las calizas dolomíticas en Santa Eulalia, Chih., los mantos de plata y plomo existen en dos horizontes favorables dentro del espesor de 1,500 m de las calizas dolomitizadas de las formaciones Aurora, Benigno, Lágrima y Finlay.

Cuando se conoce que cierto horizonte estratigráfico contiene mineral hay que determinar la superficie de ocurrencia y extensión ya que el horizonte puede tener lugares estériles. La composición de los yacimientos está siempre relacionada genéticamente con la litología.

#### 4.3 GUIAS MINERALOGICAS

La acción de soluciones hidrotermales y gases a alta temperatura y vapores sobre las rocas cerca del desarrollo de depósitos minerales produce alteraciones apreciables en su composición. Los cambios pueden relacionarse a la estructura y al color únicamente (ejem. la recristalización y filtración de rocas calizas bituminosas) sin ningún cambio en el contenido mineral, pueden resultar de suplir o eliminar sustancias (ejem. sustitución de azufre de las rocas con hierro liberado que da como resultado piritita secundaria). El granate, hornblenda, piroxeno, turmalina y biotita se forman en su camino cerca de depósitos hidrotermales; sericita, clorita y carbonato cerca de depósitos de mediana temperatura; la clorita en exceso de sericita, y carbonato, adularia y alunita alrededor de depósitos de baja temperatura. Estas alteraciones cubren un área mayor que los mismos depósitos y revelan la presencia de un depósito antes que la mineralización haya sido localizada, esto es particularmente importante con depósitos ocultos.

En una sección horizontal las alteraciones de las rocas aparecen como un blanco concéntrico, generalmente de forma elíptica. El blanco puede o no ser tan largo con respecto al depósito ascendente, (idealmente es 10-50 veces más largo que el depósito).

Litología y estratigrafía de algunos de los principales yacimientos de Plomo-Zinc.

1.— Santa Eulalia, Chih. (Yacimientos en mantos y chimeneas).

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: Las evidencias indican que los fluidos ascendieron y avanzaron lateralmente a lo largo de restringidas zonas verticales y horizontales donde el reemplazamiento fue el proceso activo.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K. (Aptiano Inf) Fm. Cuchillo	Secuencia de lutitas, anhidritas y calizas, un cuerpo granodiorítico afecta a ésta formación.	
K. (Albino) Fm. Aurora Fm. Benigno Fm. Lágrima Fm. Finlay	Paquete calcáreo	Representa la roca encajonante de los cuerpos minerales del distrito
T. (Oligoceno) Encape volcanosedimentario	Conjunto de rocas volcánicas riolíticas y andesíticas (Tobas e ignimbritas interestratificadas con sedimentos continentales)	Las rocas que componen la base de este encape presenta mineralización en fracturas

2.— Zimapán, Hgo. (Yacimientos en mantos y chimeneas).

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: Debido a la Orogenia Laramide se originaron plegamientos dentro de los cuales está el Anticlinorio El Piñón, donde se encuentra el Distrito de Zimapán, esta mineralización es de relleno de fracturas, encajonado en la Fm. El Doctor que debido a su fracturamiento y permeabilidad secundaria sirvieron de paso y depósito de minerales de mena.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
J Sup. (Kimmeridgiano — Tithoniano) Fm. Las Trancas	Arcosas y grauvacas, alternancia de grauvacas lutíticas amarillas interestratificadas con capas de caliza	Forma el basamento de la mineralización
K Inf. (Albiano Med—Cenomiano Inf.) Fm. El Doctor	Calizas grises con intercalación de lentes de pedernal negro, se observan intercalaciones de calizas masivas.	Es la roca encajonante de la mineralización
K Sup. (Cenomaniano—Maestrichtiano) Fm. Soyotal	Lutitas amarillas que alternan con margas y calizas micríticas negras, se encuentra metamorfizada alrededor del intrusivo "Toliman"	
T (Eoceno—Oligoceno) Fanglomerado "El Morro"	Conglomerado pluviolacustre de fragmentos angulosos de caliza y rocas volcánicas con algunas capas arenosas.	
T (fin Oligoceno—Mioceno) Fm. Las Espinas	Derrames y aglomerados andesíticos y dacíticos y en ocasiones basaltos y latitas cuarcíferas	

3.- San Francisco del Oro, Chih. (Yacimientos en vetas)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** Después de que se depositaron las pizarras, una intrusión originó el plegamiento y fracturamiento, las cuales fueron rellenas por las soluciones hidrotermales en una segunda actividad ígnea.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K Inf. Fm. Parral  Flujos andesíticos  Diques riolíticos	Lutitas	Junto con éstos se presentan vetas de origen hidrotermal que rellenan fisuras

4.- Santa Bárbara, Chih. (Yacimientos en vetas)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** Las fracturas de las lutitas antes de ser mineralizadas fueron formadas en dos etapas:

1°- Se formaron como fracturas de cizalla conjugadas como respuesta a esfuerzos tensionales como consecuencia del plegamiento y tienen un rumbo paralelo al eje del anticlinorio.

2°- Resultado de esfuerzos tensionales originados por empuje ascendente y provocando fracturas radiales.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K Inf. Fm. Parral	Lutitas con capas de caliza interestratificadas	Esta es la formación en la que se encuentra la mineralización, ocupando fracturas preexistentes en la lutita y andesita que varían según el tipo de roca encajonante formando vetas de estructura simple y de estructura compleja que se deben a condiciones puramente estructurales
T (Eoceno) Derrames andesíticos	Intrusión de diques silicoalcalinos y vetas mineralizadas	
(Oligoceno) Brecha intraformacional Tobas riolíticas		
(Mioceno) Gravas	Producto de fallamiento de bloques	
(Plioceno-Pleistoceno) Basaltos		
Reciente Aluvión		

5.- Velardeña, Dgo. (Yacimientos pirometasomáticos)

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: La Orogenia Laramide da origen al Domo de Santa María y al Anticlinorio de San Lorenzo, acompañado con fracturas y fallas donde se emplazaron los cuerpos intrusivos que dan lugar a la mineralización.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K Inf. Fm. Aurora	Caliza gris claro a gris oscuro con vetillas de calcita y abundantes nódulos de pedernal negro	
Fm. Cuesta del Cura	Caliza de estratificación delgada, bandas de pedernal negro y muy poco material arcilloso.	
K Sup. Fm. Indidura	Alternancia de calizas arcillosas con lutitas, bandas de pedernal negro.	
Fm. Caracol	Alternancia de lutitas y areniscas	
T (Eoceno-Oligoceno) Fm. Ahuichila	Conglomerado con fragmentos redondeados, sub-redondeados angulosos y subangulosos de caliza, cementados por material calcáreo y arcilloso y con clastos de pedernal y arenisca.	

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
<p>(Mioceno) Rocas volcánicas</p>	<p>Intrusivo diorítico de color oscuro, textura fanerítica, fenocristales de anfíboles, micas y plagioclasas.</p> <p>Intrusivo tonalítico hipabisal, con fenocristales de cuarzo, feldespato y micas en matriz afanítica.</p> <p>Dique traquítico color claro, textura afanítica y en ocasiones con estructura fluidal, de origen hipabisal.</p> <p>Andesitas de textura afanítica a porfídica con fenocristales de feldespato de Ca-Na, en matriz microcristalina, color verde y alteración propilítica (clorita-pirita).</p>	<p>Esta roca al contacto con las calizas son las que producen la mineralización.</p>

6.- La Negra, Qro. (Yacimientos pirometasomáticos)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** El yacimiento se encuentra en la charnela de el Anticlinal El Piñón, en donde está emplazado el stock diorítico, durante los fenómenos de la edificación del domo en el área ocurrieron los fenómenos mineralizantes.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
Triásico Fm. Chilar	Lutitas y grauvacas	
J Sup. Fm. Las Trancas	Alternancia de calizas, lutitas carbonosas y grauvacas	
K Med. Fm. El Doctor	Representada por cuatro facies calcáreas de plataforma y laguna	
K Sup. (Turoniano) Fm. Soyatal	Alternancia rítmica de calcarenitas, calizas laminadas y lutitas	
Cenozoico Formaciones continentales		Los cuerpos mineralizados se localizan en la aureola de los cuerpos intrusivos, dicha aureola presenta zoneamientos: Endoskarn - Hedenbergita, exoskarn-wollastonita y exoskarn de granate y caliza recristalizada. La mineralización se encuentra en el skarn de granate.



7.- Santa María de la Paz, S.L.P. (Yacimientos en mantos y chimeneas, vetas y pirometa-somático)

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: Hacia la etapa final de la intrusión de un cuerpo cuarzomonzonítico en una carpeta gruesa de sedimentos calcáreos, originó la mineralización del distrito, que posteriormente un tectonismo intenso produjo fallamientos normales dividiendo el distrito en dos partes.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K (Albiano) Fm. El Abra		
(Albiano-Cenomaniano) Fm. Cuesta del Cura		
(Turoniano) Fm. Agua Nueva (Indidura?)		
(Santoniano-Coniaciano) Fm. San Felipe (Caracol?)		
(Campaniano-Maastrichtiano) Fm. Mendez		
(Fin Eoceno-ppios. Oligoceno) Intrusión	Dique cuarzomonzonítico	Originó la mineralización del distrito
Finales del Terc. Actividad ígnea	Diques y derrames basálticos de espinela	

8.- Charcas, S.L.P. (Yacimientos en mantos y chimeneas, vetas y pirometasomáticos)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** La intrusión del cuerpo ígneo en las rocas desde el Triásico hasta las rocas del Cretácico Superior provocó una mineralización del tipo de relleno de fisuras y con reemplazamiento, transportados a través de zonas permeables a lo largo de fallas regionales y a lo largo de las márgenes del stock.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
Triásico Sup. Fm. Zacatecas	Sedimentos arcillo-arenosos	
Fines del Triásico y ppios, J. Sup.	Se interrumpen los sedimentos anteriores y sufren una intensa erosión	
J Med. Fm. La Joya	Sedimentos continentales	
J Sup.-K Sup. Caliza Zuloaga Fm. La Caja Fm. Taraises Fm. Cupido Fm. La Peña Fm. Cuesta del Cura	Secuencia arcillo-calcarea	En estas formaciones se encuentra alojada la mineralización, que ocurrió después de que se enfrió el intrusivo, reemplazando la roca encajonante adyacente y rellenando fisuras
46.6 ± 1.6 m.a. (Payán, 1986)	Cuerpo intrusivo de cuarzomonzonita	Este emplazamiento ocasionó fracturas radiales y periféricas, donde después se emplazaron los cuerpos minerales
	Diques riolíticos	
	Tobas líticas riolíticas	Existen 2 tipos de cuerpos minerales: 1- Relleno de fisuras en rocas Triásicas-K Sup. 2- Reemplazamientos irregulares y en formas de manto.
	Conglomerados calcáreos	
	Aluvión y caliche	

9.- Cuale, Jal. (Yacimientos volcánicos)

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: Las rocas volcanosedimentarias del Cretácico representan aguas marinas someras con pequeñas depresiones del fondo que ahora son las lutitas negras en forma de lentes, que se encuentran mineralizadas.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
<p>Jurásico Filitas</p>	<p>Filitas micáceas con abundante cuarzo de segregación en lentes paralelos a la foliación o en hilillos irregulares, contienen clorita, sericita y biotita. Alternancia de areniscas, lutitas y tobas riódacíticas metamorizadas en facies de esquistos verdes. Espesor de <math>\pm</math> 800 m.</p>	
<p>K Pórfido riolítico</p>	<p>Riolitas (porfídicas, esferulíticas y vitrofídicas) y pórfidos riolíticos de color gris de textura porfídica, matriz vítrea o desvitrificada, abundantes cristales de cuarzo cuedral.</p>	<p>En ellas se alojan los cuerpos mineralizados</p>
<p>Paquete volcanosedimentario</p>	<p>Alternancia de lutitas negras, limolitas, areniscas tobáceas y tobas riolíticas. Espesor de 200 m.</p>	<p>Incluye los yacimientos estratiformes</p>
<p>Brecha volcanoclástica</p>	<p>Fragmentos angulosos y subangulosos de composición riolítica, en una matriz riolítica también.</p>	
<p>Granitos y granodioritas</p>	<p>La roca presenta fuerte intemperismo que le da una forma arredondada y muy disgregable. Es de textura fanerítica con cristales de cuarzo y feldespato, estas rocas intrusionan a las filitas y a los pórfidos riolíticos.</p>	
<p>T Riolitas, riódacitas y cuarzolitas</p>	<p>Compleja unidad de corrientes y tobas cristalinas y líticas e ignimbritas.</p>	

10.- Zacualpan, Edo. de Méx. (Yacimientos volcánicos)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** El tectonismo que provocó las fracturas y fallas por donde circularon los fluidos, también formó un intenso brechamiento, creando un ambiente permeable por donde las soluciones mineralizantes circularon y se depositaron.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
Secuencia volcano-sedimentaria	Tobas y lavas máficas con intercalaciones de tobas líticas de composición intermedia. Lutitas tobáceas y tobas arenosas que cambian transicionalmente a tobas félsicas.	
K. Sup.? Unidad Atoyusco	Lutitas negras carbonosas con pirita diseminada, estratificación delgada, lentes calcáreas y tobáceas, ocasionalmente aglomerado volcanosedimentario en forma de lentes, con estructuras secundarias como crenulación, vetillas de cuarzo y pequeños pliegues.	
Unidad de la Mina	Tobas líticas intermedias inf.  Tobas félsicas calcáreas sup.	Los horizontes calcáreos de estas tobas ejercen control sobre la mineralización tanto en el carácter estructural como en el químico y de alteraciones
Unidad Sup.	Tobas y aglomerados máficos con fragmentos riolíticos en alternancia con lutitas tobáceas y tobas arenosas intercalada con delgados lentes arcillosos, presentan metamorfismo.	

## 11.- Real de Angeles, Zac. (Yacimientos volcanosedimentarios)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** La Orogenia Laramide da lugar a plegamientos de todos los sedimentos carbonatados y clásticos, y emplaza los cuerpos intrusivos graníticos los cuales ocupan los núcleos de los anticlinales que provocan la formación de los yacimientos minerales asociados a las aureolas de metamorfismo.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
Triásico Roca verde	Secuencia volcanosedimentaria (Tobas andesíticas, cuarcitas y arcillas) afectada por metamorfismo regional	
Triásico-J Flysch	Secuencia sedimentaria marina tipo flysch (Alternancia de limolitas y areniscas)	Roca encajonante del yacimiento. Existe un control de la mineralización de carácter estratigráfico donde el 80% de los valores de Ag-Pb-Zn están contenidos en capas de areniscas, en su modelo de stockwork y diseminación
K Inf. (Albiano-Cenomaniano) Calizas	Transición entre sedimentación clástica a sedimentación calcárea (Calizas arcillosas a calizas más puras) con lentes y capas de pedernal negro.	
Orogenia Laramide	1° período - Intrusivos graníticos que presentan mineralización asociada  2° período - Diques y pequeños stocks riolíticos	Oro, plata, cobre, wollastonita, fluorita y minerales radioactivos  Contienen mineralización de oro, plata, plomo, zinc, cobre, pirrotita y fosforita que ocurre rellenando fallas, fracturas y planos de estratificación formando hilillo de partículas diseminadas  La edad aproximada del yacimiento es de 25 m.a. (Bravo N., 1986)
T Corrientes y tobas riolíticas.		
Rocas ígneas intrusivas		
Aluvi6n		

NOTA: La pirrotita es un mineral de ganga y es una gúla excelente para la prospección magnetométrica por su elevado magnetismo.

12.- Rosario, Sin. (Yacimiento volcánico)

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
Andesitas	Roca verde oscura, de textura afanítica y porfídica, con fenocristales de plagioclasas en una matriz de plagioclasas y ferro-magnesianos, fracturas rellenas de calcita y cuarzo.	Se encuentra abajo de la estructura mineralizada (Sic.). Portillo R. et. al., 1989
Traquita	Roca café claro, de textura afanítica con apariencia tobácea.	Se encuentra tanto en el bajo como en el alto de la estructura mineralizada.
Pórfido riolítico	Roca color rosado claro, textura porfídica con fenocristales de cuarzo y ortoclasas en una matriz afanítica.	Se encuentra bajo la estructura mineralizada y presenta fracturas en el mineral, por lo que se supone es preliminar

13.- Fresnillo Zac. (Yacimientos en mantos y chimeneas)

EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION: La intrusión deformó y brechó las rocas de la parte inferior del Grupo Proaño, donde después se emplazaron las estructuras, las chimeneas son cuerpos tabulares que nacen del alto de algún manto, preferencialmente cercanas al cuerpo intrusivo.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
<p>K Grupo Proaño</p>	<p>Grauvaca Inf.- Grauvacas con intercalaciones de lutitas calcáreas, lentes de caliza y lutitas calcáreas carbonosas. Grauvaca Sup.- Grauvacas, lutitas y calizas con grauvaca masiva en su base.</p>	<p>Las estructuras están encajonadas en la grauvaca inferior y están muy relacionadas con el intrusivo cuarzomonzonítico, ya que los cuerpos mineralizados se alojan alrededor de dicho intrusivo.</p>
<p>Fm. Chilitos</p>	<p>Rocas y aglomerados andesíticos con intercalaciones de rocas sedimentarias (limolitas, areniscas y lentes de margas).</p>	
<p>T Brecha sedimentaria</p>	<p>Fragmentos de areniscas, lutitas calcáreas y calizas, en su mayoría angulosas y subangulosas</p>	
<p>Tobas riolíticas Riolitas</p>	<p>Con fenocristales de cuarzo, biotita y feldespato en matriz afanítica de textura fluidal, se encuentran vidrios volcánicos también.</p>	
<p>Cuarzomonzonita</p>	<p>De textura porfídica con fenocristales de cuarzo y feldespato.</p>	
<p>Q Aluvión</p>		

14.— La Colorada, Zac. (Yacimiento volcánico)

**EMPLAZAMIENTO DE LA MINERALIZACION:** Los plegamientos de los sedimentos cretácicos producto de los esfuerzos compresionales ocurridos a finales del Cretácico y principios del Terciario, y después los esfuerzos tensionales en los depósitos de traquitas y antes de las riolitas, originaron fallas que alojaron las vetas del distrito. Las soluciones hidrotermales de una hipotética cámara magmática provocan explosiones magmáticas hidrotermales que dan origen a chimeneas brechadas.

En la etapa final circularon soluciones hidrotermales que depositaron mineralización en las partes permeables de brechas y fallas, por lo que la mineralización se presenta en forma de chimeneas, como relleno de huecos entre fragmentos y reemplaza parcialmente a la matriz; las vetas existen como relleno de fisuras y algunos mantos sustituyen en parte a las calizas.

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	MINERALIZACION
K (Albiano—Cenomaniano) Fm. Cuesta del Cura	Calizas con lentísculas y bandas de pedernal y algunos horizontes arcillosos.	
Fm. Caracol—Indidura	Intercalaciones de areniscas de terrígenos, areniscas calcáreas, limolitas y lutitas carbonosas.	
T (Eoceno) Fm. Ahuichila	Conglomerados de cantos de caliza, pedernal negro y lutitas	
(Oligoceno) Traquitas	Traquitas que en la base tienen una textura volcániclastica y se intercalan con algunos lentes de conglomerados calcáreos, hacia la cima cambian a depósitos piroclásticos.	En ellas se encajonan gran parte de las vetas y brechas mineralizadas
Conglomerado traquítico	Presenta intensa silicificación y argilización y horizontes de jasperoides	
24—30 m.a. (Andrade T., et. al., 1988) Riolitas	Toba de cristales y flujos piroclásticos.	Son rocas postminerales



Las alteraciones de las rocas alrededor de los depósitos varía (Kurck, 1954; Boyle, 1970 en Kusvart y Bohmer, 1978) de acuerdo a la actividad del proceso de formación mineral y las características de la roca. Las alteraciones de las rocas básicas y ultrabásicas incluyen serpentización, formación de zonas de reacción, listwanitización, carbonatación, cloritización y propilitización. Las alteraciones de rocas intermedias y ácidas incluyen greisen, albitización, turmalinización, berisitización (sic) en Kusvart y Bohmer, 1978, sericitización, formación de cuarzo secundario, caolinización, silicificación, hematización, alunitización y lixiviación, las alteraciones de rocas carbonatadas incluyen la formación de skarn y zonas de reacción al contacto de rocas de carbonato/silicato, escapolitización, silicificación, baritización de calizas y dolomías, dolomitización y oficalcitización.

**SERPENTINIZACION** con frecuencia afecta rocas ultrabásicas. La serpentización regional, manifestada por la textura tejida de serpentina y serpentización dinamometamórfica, la cual lleva al surgimiento de antigorita, no son de importancia en el estudio.

La serpentización hidrotermal acompañada por cloritización y carbonatación es más útil en el estudio, ya que están frecuentemente asociados con la formación del talco.

La serpentización que se desarrolló al contacto entre intrusiones ultrabásicas y ácidas más jóvenes es una guía para depósitos de asbesto crisotilo. Harzburgita serpentizadas en este respecto que las lherzolitas; las rocas pirogénicas son de poca importancia.

El estudio de asbestos puede también ser concentrado a los márgenes entre serpentinas y ultrabásica inalterada, y al endocontacto entre serpentinas y diques.

La serpentización hidrotermal con frecuencia afecta diques ultrabásicos junto a los ensambles, la pirogenita, microgabro, diabasa y plagioclasa son convertidos a granate, granate-clorita-piroxeno, granate vesuvianita y rocas leucocráticas similares, las cuales contrastan con la proximidad de diques de serpentinas y peridotitas. Su color luminoso las hace fácilmente distinguibles en el campo e indican la circulación de soluciones que podrían dar origen a asbestos crisolita en las serpentinitas circundantes.

**ZONAS DE REACCION** entre una roca ultrabásica y las rocas adyacentes químicamente diferentes consisten de biotita (o una de las siguientes: flogopita, vermiculita y clorita), actinolita, talco o rocas serpentínicas ellas difieren en color de las rocas ultrabásicas y con frecuencia contienen depósitos de talco.

**LISTWANITIZACION** es la alteración hidrotermal de silicatos de Fe-Mg en rocas ultrabásicas, las cuales producen carbonatos de Ca, Mg y Fe, cuarzo y talco.

Las sobreproducciones de listwanita con frecuencia forman cerros morfológicamente conspicuos. La listwanitización que acompaña vetas con depósitos de cobre contienen níquel y cobalto (ejem. en los Montes Urales), y pueden proveer la materia prima para la producción de talco.

**CARBONATACION** usualmente afecta rocas básicas e intermedias y produce carbonatos de Fe-Mg. El proceso ocurre en rocas adyacentes a algunos depósitos de oro, cobre y polimetálicos.

Por desgaste, los carbonatos se descomponen dentro de un ocre, las cuales son cavidades de forma rómbica. La carbonatación es menos importante en rocas ácidas y ésta es acompañada por la formación de sericita, clorita y pirlita en rocas feldespáticas.

**CLORITIZACION** puede servir como guía sólo si es producida por soluciones hidrotermales. La cloritización regional, de contacto, retrógrado y autometamórfica no es importante. La cloritización hidrotermal, sin embargo, es de poca extensión. La mineralización frecuentemente aparece en una roca cloritizada como impregnaciones minerales combinadas con sericitización, turmalinización o silicificación.

Tipos individuales de rocas cloritizadas acompañan, a tipos definidos de depósitos minerales. Rocas cloriticas monominerales se originan en la vecindad de depósitos de pirlita, sulfidicasiterita, plomo, zinc y cromita. Rocas cloriticas de cuarzo abundante están asociadas con sulfídico-casiterita, y a menor extensión depósitos de calcopirlita y polimetálicos.

Rocas cloriticas de sericita ( $\pm$  cuarzo) se encuentran cercanos a depósitos de pirlita (como en los Montes Urales y Altai). Rocas cloriticas de turmalina ( $\pm$  cuarzo) son características de depósitos de sulfuro-casiterita, mientras que rocas cloriticas de biotita ( $\pm$  cuarzo) acompañan los minerales de pirlita y cobre pórfido.

El carácter mineralógico de la clorita varía en depósitos individuales, de acuerdo a la temperatura y condiciones químicas de su origen. Las cloritas de Fe del grupo turingita son típicos de minerales de sulfuro-casiterita. Sobre depósitos sulfúricos (especialmente Cu) los cloritos de Mg-Fe del grupo seridanita nipidolito son encontrados. Las cloritas de Mg de las series clinocloro-pennivanita-proclorito se encuentran en rocas cloritizadas cerca de depósitos de Pb-Zn.

Los depósitos de oro son acompañados por cloritas de Fe-Mg, depósitos de cromita por clorita de Fe-Cr (kotscherbita) y los skarns por clorita de Mg.

**PROPILITIZACION** afecta principalmente andesitas, dacitas y basaltos, con menor frecuencia riolitas acompaña depósitos de teluros de Au y Ag, arsénicos y antimonios, es frecuentemente tan extenso que pierde significancia como una guía de exploración.

GREISEN es una ayuda importante en la exploración de depósitos de Sn, W y Mo, menos frecuente para minerales de As y Bi y raro para minerales de Au. Su actividad a lo largo de contactos externos e internos de intrusiones menores y apófisis en forma de cúpula luminosa no afecta grandes cuerpos intrusivos. La petrografía de rocas greisen corresponde a granitos ácidos y granodioritas, rara vez a dioritas. El greisen de rocas más básicas no ha sido observado. Las intrusiones graníticas ácidas, con frecuencia acompañadas por pegmatitas, contienen depósitos no sulfúricos de casiterita-tungsteno. Minerales sulfúricos de Fe, Cu, As, Sn, Bi, Mo, Zn y Pb existen en granodioritas greisenizadas. De acuerdo a su extensión el greisen, puede ser dividido en dos tipos. El primero incluye cuerpos delgados cercanos al canal de suministro y pobre en minerales metalíferos, y el segundo una alteración más extensa de la roca primaria con la producción de familias y nidos a lo largo de la contracción de las fisuras.

Tipos individuales de greisen, caracterizados por mineral no metálico, indican la presencia de un metal particular. Turmalina y greisen cloríticos de turmalina indican minerales sulfúricos de estaño. Los greisen tipo topacio sugieren la existencia de minerales de estaño no sulfúrico, el tipo fluorita es característico de la mineralización de tungsteno y el tipo fluorita-muscovita de vetas de molibdenita.

Los greisen que contienen minerales sulfúricos se desgastan a limonita mientras que aquéllos que contienen minerales no sulfúricos se desintegran dentro de la arena produciendo minerales metalíferos, los cuales originan sitios de casiterita.

Actualmente las cúpulas de masas de granito greisenizadas en los Montes Krusné Hary (Erzgebirg), en los Montes Sloukousky (Checoslovaquia) están recibiendo particular atención (Janecka, 1964 en Kusvart y Bohmer, 1978). El relieve del granito sepultado fue trazado por pretender un examen gravimétrico, pero fracasó para localizar los greisen de producción de Sn, los cuales pueden descender cientos de metros bajo la superficie de granito.

La delimitación de cuerpos minerales es difícil mientras la mineralización no es visible. Los trabajos subterráneos combinados con sección detallada son más útiles.

ALBITIZACION de intrusivos ácidos indican la presencia de greisens con productos de Sn, Mo y W. Se desarrolla en la base de cúpulas de greisen y, con greisen débil afecta partes largas de las intrusiones a lo largo de su contacto con el techo. La albita se forma a partir de K-feldespatos a través de la acción de soluciones ricas en Na. En un medio ambiente saturado en Si O<sub>2</sub> y pobre en álcalis, los K-feldespatos son reemplazados por cuarzo y subsecuentemente por muscovita. Las soluciones ricas en Na también causan el reemplazo de plagioclasas por muscovita.

TURMALINIZACION es una indicación de algunos depósitos de Sn, menos frecuente de minerales de Cu, Au, As, Pb, Zn, W, Mo y Co. Su tipo relativamente raro de alteración ocurre, por ejemplo, en

la proximidad de depósitos de Sn, Pb, Zn y Au en la zona metalogénica del pacífico (ver guía estructural). Las rocas turmalinizadas forman cristales y reservas en un área hasta de varios kilómetros cuadrados. La turmalinización toma lugares a lo largo de los márgenes de intrusiones hipabisales de granito y granodiorita y en feldespatos efusivos y sedimentarios. Los minerales metalíferos están frecuentemente ausentes.

**BERISITIZACION** es la alteración parcial de feldespatos en rocas plutónicas e hipabisales a sericita y cuarzo secundario, ocasionalmente con la formación simultánea de carbonatos y pirita. La berisita está compuesta de cuarzo, mica y pirita. La alteración es una guía para las vetas auríferas de cuarzo y lugares de Au, menos frecuente para wolframita y vetas polimetálicas y de cobre.

**SERICITIZACION** frecuentemente con silicificación, acompaña casi todos los depósitos magmatogénicos. Afecta feldespatos alcalinos y plagioclasas ácidas y también a menor extensión de minerales coloridos de rocas feldespáticas. El proceso es indicativo de existencia de minerales metalíferos sólo cuando está asociado con otros minerales secundarios tales como carbonatos, clorita, epidota, turmalina, fluorita, topacio, barita y sulfuros. La sericitización regional de origen autometamórfico retrógrado no es de importancia en la exploración.

Las rocas feldespáticas también resultan sericitizadas durante el desgaste sub-aéreo, cuando otros minerales son también formados erróneamente por sericita (albita, pirofilita, micas supergénicas). Es entonces necesario distinguir entre productos desgastados y aquéllos de alteración hidrotermal, ya que únicamente los últimos son importantes en la exploración. Una determinación exacta demanda métodos precisos de laboratorio. Para determinación de campo es suficiente conocer que en sericitización hidrotermal alrededor de depósitos minerales metalíferos, los feldespatos son completamente reemplazados por minerales hidrotermales, ya que el desgaste usualmente deja los corazones de los cristales de feldespatos intactos. La sericita formada en la vecindad de depósitos hipotermales corresponde químicamente a muscovita. Cerca de depósitos mesotermales (ejem. de Pb-Zn) es formada fengita y los depósitos de oro son acompañados por sericita en producción de V o Cr (fuchsita o mariposita).

**FORMACION DE CUARZO SECUNDARIO** es típico de rocas efusivas alteradas hidrotermalmente (lavas y piroclastos). Esta alteración da origen a cuarzo, pirita, hematítica, rutilo, sericita, alunita, caolinita, pirofilita, andalucita, diáspora o corindón, topacio y otros minerales. Los depósitos no metálicos, especialmente de corindón y andalucita, están relacionados a cuarzo secundario derivado de rocas efusivas ácidas. Los cuarzos secundarios son depósitos de Cu (kuonrad), Pb, Zn y Au son derivados de rocas volcánicas intermedias. Los cuarzos de todos tipos están caracterizados por un puntiagudo desecado, un color brillante con manchas oscuras limonitizadas y manchas blancas

caolinizadas. El interior de las masas de cuarzo secundario muestran las siguientes zonas: roca inalterada primaria, propilita, sericita, pirofilita, caolinita, alunita, diáspora, andalucita y corindón. La última zona, la más cercana al canal de suministro de soluciones hidrotermales, se formó a las más altas temperaturas. La zonificación completa sin embargo es rara. La presencia de las zonas de sericita a alunita en rocas que fueron inicialmente intermedias sugieren químicamente la ocurrencia de polimetálicos, minerales de oro y cobre.

**CAOLINIZACION** afecta rocas feldespáticas en la vecindad de vetas hidrotermales, polimetálicas, oro, barita y fluorita, o depósitos de estaño tipo greisen.

La caolinita acompañada de depósitos hidrotermales y a altas temperaturas parece haberse originado del desgaste de sericita hidrotermal. La coalinización es también producida por la acción de ácido sulfúrico liberado durante el desgaste de sulfuros. Rocas ígneas y metamórficas alteradas por supergeneración de caolinización apunta la posible presencia de una corteza de desgaste antiguo, la cual puede contener depósitos de Ni, Fe, Al, caolín y arcillas refractarias.

**SILICIFICACION** (sin la formación de minerales secundarios). Es una alteración frecuente asociada en depósitos de Cu, Pb, Zn, Au, Hg, cuarzo piezoeléctrico, fluorita y barita (witerita), y ésto ocurre particularmente alrededor de depósitos minerales epitermales en rocas volcánicas. La evidencia de hematitización es útil en la exploración de depósitos de uranio.

**ALUNITIZACION** ocurre en los estratos más altos e intermedios alterados hidrotermalmente y en rocas efusivas ácidas y es típica de minerales polimetálicos, oro y cobre. La alunita es acompañada por cuarzo, sericita, y ocasionalmente caolinita y pirita.

**LIXIVIACION DE ROCAS** es causada por filtración de aguas sulfáticas de depósitos sulfúricos.

**LA FORMACION DE SKARNS** es frecuentemente acompañada por mineralización. Los skarns no sólo indican con certeza procesos metamórficos de contacto sino también por sí mismos forman depósitos minerales. La producción mineral de skarns originada sólo donde las intrusiones ácidas a intermedias (granito, granodiorita, diorita de cuarzo, sienita) están en contacto con caliza o dolomías intermedias del manto. Ellas pueden desarrollar el contacto por sí mismas o en el manto metamorfoseado termalmente de la intrusión a una distancia de 200-400 m (excepcionalmente 2 km.) o en xenolitos de carbonato dentro de la intrusión los skarns generalmente existen en áreas plegadas, menos frecuente a lo largo de los márgenes de la plataforma, y están invariablemente relacionados a fallas.

Los skarns pueden ser derivados dentro de tipos simples y compuestos. Los skarns simples están compuestos principalmente de granate, piroxenos y minerales. El carácter mineralógico de los granates y piroxenos con frecuencia indican un tipo seguro

de mineralización. Los skarns con granates oscuros de composición de andradita contienen minerales de Fe, Pb-Zn y Co.

En el depósito del gran Valle de Alaska, el granate es un skarn con producción de magnetita que contiene 96-100% de componente de andradita, mientras que el contenido de andradita del granate es un skarn libre de magnetita que varía de 45 a 85%; el resto del componente de grossularita (Mc Kinstry, 1948 en Kusvart y Bohmer, 1978). El componente de andradita se incrementa continuamente hacia el depósito. Los skarns que contienen granate de andradita-grossularita químicamente están asociados con mineralización de Cu y W, mientras que granates con predominio de componente grossularita acompañan la mayoría de skarn con depósitos de W. Los granates isotrópicos se encuentran en los skarns que contienen depósitos de Fe y los granates anisotrópicos existen con otros minerales metálicos. Los skarns de hedenbergita están frecuentemente relacionados a depósitos ricos en Cu, Pb, Zn, W y Mn-Hedenbergita (más de 6% de MnO) indican la proximidad de cuerpos de Pb, Zn-Cu. Los skarns en producción de axinita no están acompañados por mineralización mayor.

Los skarns compuestos se desarrollan a través de la alteración gradual de skarns simples y contienen, entre otros minerales epidota, actinolita y rodonita.

Algunos de ellos han pasado por mineralización subsecuente de cuarzo-sulfuro con la formación de calcopirita, pirrotita, esfalerita, galena, molibdenita, cobaltita, arsenopirita, scheelita, berilo, casiterita y oro nativo.

ZONAS DE REACCION al contacto entre carbonatos y rocas de silicato indican la presencia de flogopita. La secuencia en la zona de seguimiento presenta: roca de carbonatos inalterada (principalmente caliza dolomitizada) - calcita zona de forsterita (con una pequeña porción de diópsida y hornblenda) - zona de diópsida (con flogopita admixturita) - flogopita - zona de diópsida (con grandes cristales y agregados de flogopita) - cuarzo - zona de escapolita (con feldespato y diópsida) - roca aluminosilicatada (especialmente granito alaskita o granito pegmatítico).

ESCAPOLITIZACION es también distintiva de cuerpos de flogopita; la zona de escapolita sigue inmediatamente después de una de flogopita.

SILICIFICACION DE ROCAS DE CARBONATO ocasionalmente acompañados por fluoritización es indicativo de mineralización de barita-witherita; la silicificación relacionada a depósitos de Hg y Sb es caracterizada por la formación simultánea de calcedonia.

BARITIZACION de calizas y dolomías es una indicación de Pb - Zn y a menor extensión, de cuerpos de barita - witherita. El gran depósito mineral de Pb - Zn Mergalein Sai en Kara Tau (sur de Kasakhstan) fue descubierto por el trazo de una zona de dolomitas baritizadas.

**DOLOMITIZACION** de calizas acompaña depósitos de Pb - Zn (ejem. Trepche en Yugoslavia, Lower Silicita en Polonia) así como cuerpos de barita y witerita. Un explorador puede distinguir entre dolomitas sedimentarias y dolomitas hidrotermales basándose en su forma y textura. Los cuerpos vetados ordinarios de forma irregular, relacionados a fisuras y fallas, son particularmente dignos de atención. Estos son casi invariablemente de origen hidrotermal. Las intercalaciones de dolomitas sedimentarias calizas, no puede ser ignorada, ya que la dolomita siendo más quebradiza que la caliza, suele estar más intensamente fracturada y por tanto más accesible a las soluciones mineralizantes.

**OFICALCITIZACION** debida a procesos metasomáticos al contacto entre mármoles y serpentinitas con producción de crisolita es acompañada por la formación de rocas verdes, rosas y amarillas las cuales se localizan dentro del mármol en un lado y la serpentinita en el otro. Una intrusión ácida o más comúnmente, de magma básico provee la solución y calor requeridas para oficalcitzación. Los mármoles con producción de Mg involucradas en este proceso causan rápida serpentinización de la intrusión básica. La crisolita es formada en una etapa posterior. Los mármoles puros del otro lado son únicamente parcialmente silicificados al contacto con la intrusión.

#### 4.4 GUIAS ESTRUCTURALES

La estructura de la corteza terrestre es muy a menudo un factor de control en la formación de los yacimientos minerales. Numerosos tipos de yacimientos metálicos y no-metálicos son de origen endogenético. Lo cual origina el confinamiento de los yacimientos en áreas plegadas. Los pliegues se deben por una parte a la tectónica regional y por otra a los cuerpos magmáticos que se emplazan y colaboran a la generación de los yacimientos. Estos depósitos usualmente se originan al final del ciclo orogénico en una área determinada. Aunque existen algunos yacimientos de carbón, aceite, carbonatos, manganeso, bauxita y fosfatos que se localizan en zonas de transición caracterizadas por plegamiento suave.

El origen de las zonas metalogénicas se puede explicar en términos de los nuevos conceptos de la tectónica de placas; las áreas mineralizadas se presentan a lo largo de los márgenes de las placas que pueden ser por acresión, transformación y subducción. Por lo cual el estudio de la tectónica global es de suma importancia para determinar la guía estructural principal que afecta la prospección geológica.

Las zonas metalogenéticas son fajas de mineralizaciones que gradualmente pasan hacia las rocas encajonantes.

Un tipo especial son las zonas minerales asociadas a una presumible falla, la cual a menudo ocurre en el basamento de las

montañas plegadas, en este grupo se incluyen los depósitos del cinturón de la plata, el cual se extiende por más de 2,000 kilómetros en México y reaparece en el Sur y hacia el Este en el Perú y Bolivia. El cinturón corta y atraviesa todas las montañas plegadas y sin relación con alguna estructura conocida en la superficie.

Son de particular importancia los sitios en los cuales se presentan estructuras dirigidas de anticlinales, zonas axiales anticlinorios mayores, fallas, intersección de fallas con anticlinales, periclinales cerrados o anticlinales, anticlinorios, intersección de fallas con horizontes favorables.

Estas zonas minerales también se pueden relacionar con intrusiones graníticas, pequeñas intrusiones fuertemente diferenciadas, rocas básicas y ultrabásicas, angostas zonas de hundimiento, xenolitos (rocas del manto en cuerpos intrusivos) e intersección de zonas anticlinales con diques.

Los cuerpos minerales están localizados con base en el estudio de las estructuras presentes en las zonas metalogénicas, las estructuras son diferenciadas en los tipos pre-, sin-, y post-mineralizaciones y todas tienen que ser objeto de estudio durante la exploración.

Unidades estructurales de magnitud menor y de gran importancia para la mineralización son las fallas, fisuras (abiertas), juntas y sus combinaciones posibles.

El primer grupo de estructuras funcionan como canales de reemplazamiento y distribución de las soluciones minerales. El segundo grupo es relativamente raro y el tercero son modificaciones de los depósitos ya establecidos.

Las fisuras (abiertas) se forman paralelamente a la dirección del esfuerzo (fig. 4.4.a), muchas veces están arregladas en echelón y mineralizadas. Las aberturas se logran cuando la mineralización va precedida de movimientos que producen desigualdades en las superficies. Durante el plegamiento las rocas estratificadas se deslizan una sobre la otra creando aberturas en el anticlinal y el sinclinal (fig. 4.4.d) las cuales pueden, tardíamente, ser rellenas con minerales. Las soluciones minerales hacen que se dispersen las concentraciones.

Estadísticamente se muestra que la mayoría de los depósitos epigenéticos en áreas plegadas ocurren en los anticlinales, las cúpulas, en los limbos o pliegues, especialmente en aquéllos que están volcados y adecuadamente abiertos para que ocurra la depositación del mineral (fig. 4.4.e) como resultado del aplastamiento y de pequeños movimientos entre las rocas de diferente competencia.

Los pliegues de flexión también presentan cavidades aptas para la mineralización (fig. 4.4.c).



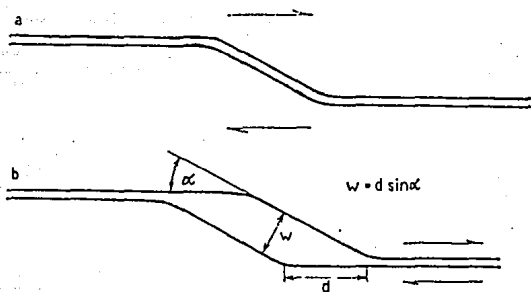


Fig. 4.4.a Trazado perpendicular de una sección a la junta de corte con diferentes superficies (a) antes (b) después del movimiento -- el cual produce la abertura conveniente para la mineralización, ( Kusvart y Bohmer, 1978).

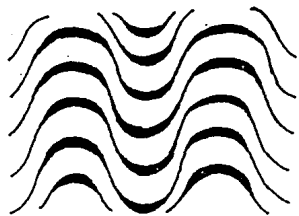


Fig. 4.4.b Formación de las aberturas en anticlinales y sínclinales -- durante el plegamiento de las capas éstas no se deslizan -- fácilmente una encima de la otra, (Kusvart y Bohmer, 1978).

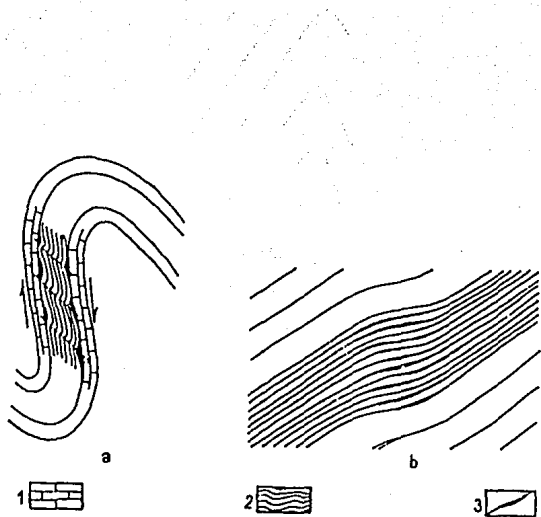


Fig. 4.4.c Origen de los espaciamentos: (a) durante el plegamiento disarmonico de rocas que presentan diferente competencia.  
 (b) en plegamiento flexional: (1) rocas d6ciles al plegamiento;  
 (2) rocas menos d6ciles al plegamiento.  
 (3) espaciamentos.

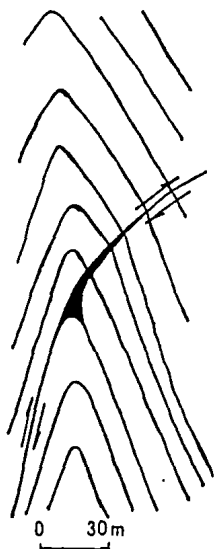


Fig. 4.4.d Arrecife Silla de Montar en el depósito Bendigo, Australia  
( desde Pabst en McKinstry, 1948).

V.I. Smirnov (1957 en Kusvart y Bohmer, 1978) dividió las estructuras mineralizadas en seis grupos y en veinte subgrupos que a continuación se describen de manera breve:

#### I: ESTRUCTURAS CONCORDANTES A LAS ROCAS ESTRATIFICADAS

1: Arrecifes de silla de montar; se forman en los anticlinales encorvados (fig. 4.4.d)

2: Lentes: son cuerpos flexionados, y son más frecuentes en las lutitas y tobas (fig. 4.4.e y fig. 4.4.f)

3: Zonas de deslizamiento intraestratal y aplastamiento (fig. 4.4.g); la mineralización se localiza en el pliegue del limbo en el contacto entre dos rocas de diferente competencia.

4: Lechos o capas favorables: son depósitos formados como resultado de la reactividad química y/o permeabilidad en las dolomitas y areniscas (fig. 4.4.h).

5: Depósitos bajo capas impermeables: como resultado de las diferencias litológicas entre éstos y bajo capas falsas o por que hay una estructura favorable (p.e. un anticlinal).

#### II: DEPOSITOS MINERALES ASOCIADOS CON FALLAS REGIONALES

6: Depósitos en fallas inversas: comúnmente asociados con afallamientos regionales y muy raramente se presentan en las fallas subsidiarias y fracturas.

7: Depósitos en fallas normales y tensionales: son bastante raros pero cuando se forman se presentan como vetas o bancos con forma de pipa (fig. 4.4.i).

#### III: DEPOSITOS EN ZONAS DE ESFUERZO TECTONICO

8: Depósitos en fracturas abiertas: toman la forma de vetas cortas e irregulares, ramificadas, ocurren en zonas de esfuerzo tensional, formaciones estratificadas, fracturas transversales en diques (vetas escalonadas) y grietas de enfriamiento en intrusiones.

9: Depósitos en juntas de cizalla: en un sistema, el cual sólo presenta un pequeño movimiento, éstos conforman a menudo campos de vetas y son más alargados y continuos que las fracturas en vetas.

10: Depósitos en juntas paralelas de cizalla: los cuales se intersectan aproximadamente en ángulos rectos, si las juntas se forman a profundidad, su paternidad se puede determinar en una sección horizontal y si ellas están formadas cerca de la

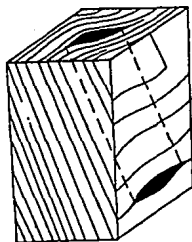


Fig. 4.4.e Elongamiento con forma de lente de un cuerpo mineral en una estructura de flexión sumergida en capas muy escarpadas, (desde Smirnov, 1957), (fuente: idem).

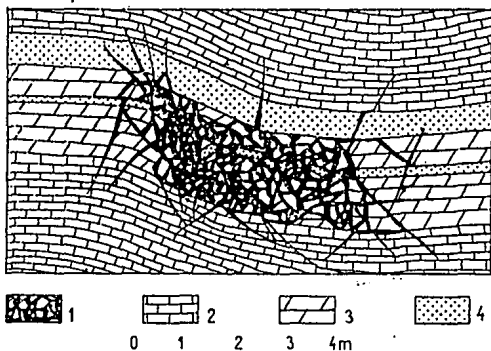


Fig. 4.4.f Brecha mineralizada en una flexión del pliegue, Arkansas, U.S.A., (después McKnight en Bateman, 1950).

- (1) mineral con fragmentos de dolomita; (2) caliza;  
 (3) dolomita; (4) arenisca.

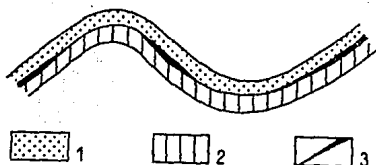


Fig. 4.4.g Cuerpos minerales con forma de lentes en las zonas de deslizamiento intraestratal (acompañado con aplastamiento).

(1) rocas fácilmente plegables; (2) rocas menos fácilmente plegables; (3) mineral (brecha mineralizada).

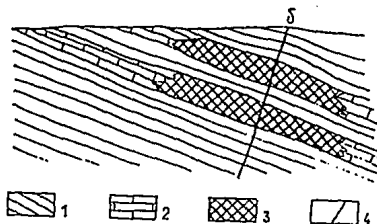


Fig. 4.4.h Cuerpos minerales metamórficos en la intersección de una roca favorable con una falla (canal alimentador); (1) lutita; (2) caliza; (3) mineral; (4) falla.

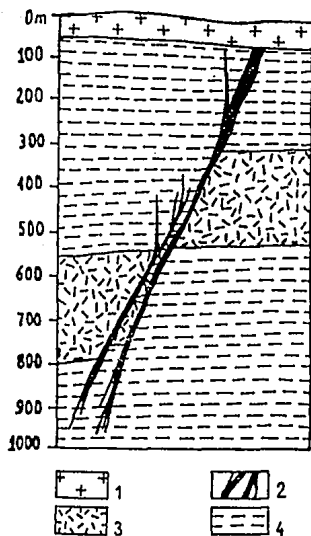


Fig.4.4.i Veta de Au-Ag en una formación subvolcánica relacionada con una falla normal, Sn Rafael, México (Lindgren, 1926), (fuente, idem); (1) andesita Reciente; (2) veta; (3) intrusivo - andesítico del Mioceno; (4) lutitas y areniscas del Jurásico.

superficie, son visibles en una sección vertical, por ejemplo Real del Monte en Pachuca, México.

11: Depósitos en juntas paralelas de cizalla y fracturas: son muy raros. Algunos campos minerales se asocian con el gran número de juntas y campos de fracturas, los cuales fueron formados en diferentes etapas tectónicas y que posteriormente fueron rellenados sucesivamente por distintos tipos de minerales.

12: Depósitos en fracturas de penacho: éstas recorren diagonalmente las fallas, son distintivas la formación de estas fracturas sin una pareja de campos de juntas, se desarrollan dentro de una falla (fig. 4.4.k) las fracturas originales creadas por tensión, mientras que las juntas paralelas de cizallas pueden suprimirse desde el principio. Así con esto sólo se observan los elementos que son representados por las líneas gruesas en la (fig. 4.4.k).

13: Depósitos en zonas de juntas: se localizan donde las juntas y fracturas se desarrollaron en la parte superior de los modelos irregulares como la impregnación de stocks de molibdeno, estaño, y yacimientos polimetálicos de cobre.

#### IV: DEPOSITOS EN LOS CONTACTOS DE ROCAS IGNEAS

14: En intrusiones con contactos concordantes: se presentan en las rocas calcáreas, forman los depósitos de skarn.

15: En intrusiones con contactos discordantes: forman los depósitos de skarn con forma de lentes. Además los contactos entre el intrusivo y la roca encajonante forman planos de debilidad, los cuales pueden abrirse para quedar como receptáculos de las soluciones hidrotermales tardías, producto de los movimientos tectónicos (fig. 4.4.1).

#### V: DEPOSITOS EN ESTRUCTURAS COMBINADAS

16: Depósitos en la intersección de fallas y fracturas con rocas favorables: la tectónica combinada con una litología favorable, predispone la ubicación de los yacimientos de metales no-ferrosos.

17: Depósitos en la intersección y los contactos de fracturas, juntas, fallas con capas de rocas favorables: presentan la forma de stocks y bolsas de mineral (fig. 4.4.m). Estadísticamente se muestra que el 75% de las vetas (fracturas primarias) tienen intersecciones que tienden a estar enriquecidas, el 13% se presenta empobrecidas por el echado, y el 12% restante sin cambios remanentes. Por ejemplo enriquecimiento de vetas en intersección con rocas favorables; las vetas Towers Charters de Au, Ag-Pb en Guadalupe, México.



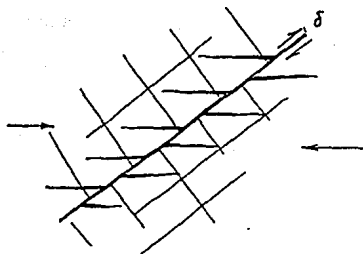


Fig. 4.4.k Formación de las fracturas con forma de penacho a lo largo de una falla ( originalmente juntas de cizalla ).

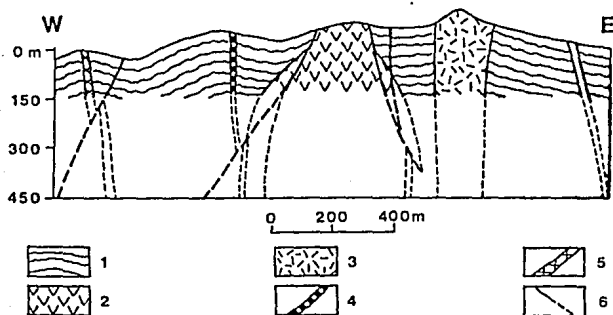


Fig. 4.4.1 Vetas siguiendo el contacto de la intrusión-manto. En Tepazala, Aguascalientes, México. ( después Wanke y Moore en McKinstry, 1984). (1) sedimentos Mesozoicos; (2) intrusivo riolítico; (3)-- intrusivo porfídico de cuarzo; (4) dique de riolita; (5) dique - porfídico; (6) vetas.

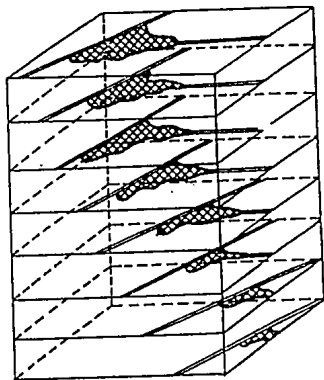


Fig. 4.4.m Desarrollo de un stock mineral en el contacto de dos fallas o fracturas.

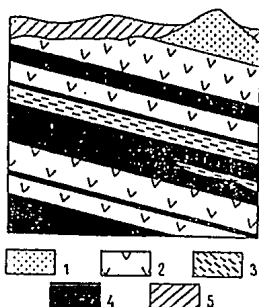


Fig. 4.4.n Intrusión básica inter-estratificada con cuerpos concordantes de cromita, (después Kupferburger en Bateman, 1950). (1) anortosita; (2) gabro; (3) roca con broncita; (4) cromita; (5) aluvión.

## VI: DEPOSITOS EN INTRUSIONES

18: Intrusiones estratificadas o en capas: son por diferenciación in situ, por la segregación que ocurre en los depósitos líquido-magmáticos de níquel (en noritas), de metales raros (intrusiones alcalinas), de platino (en rocas ultrabásicas fig. 4.4.n). Son depósitos relativamente delgados pero "estratigráficamente" continuos y concordantes con las capas de su entorno.

19: Depósitos magmáticos tardíos y líquido-magmáticos: de los tipos denominados "veta fuera de campo" con formas separadas de depositación mineral en las zonas debilitadas alrededor de rocas afines básicas o ultrabásicas. Son de forma tabular o semejan chimeneas.

20: Depósitos en rocas básicas y ultrabásicas con estructuras de flujo: presentan características o rasgos de minerales protomagmáticos. Estos adoptan las direcciones y sentidos de los flujos lineales y planares en las rocas.

Los pliegues, fallas y fracturas se pueden formar simultáneamente con la mineralización, aunque la mineralización de los espacios intraestratales de un anticlinal y su formación simultáneamente es muy rara, la sincronización del afallamiento y la mineralización son también muy raros. Las fracturas formadas durante la mineralización son rellenas con distintas paragénesis de acuerdo al tiempo que dure el espaciamiento y a las soluciones hidrotermales; el contenido mineral de esos cambios también se da con el tiempo, consecuentemente las vetas minerales de diferente composición se pueden formar dentro de un mismo yacimiento mineral. La gradual extensión de la fractura durante la mineralización está expresada por los cambios laterales en la composición mineral de la veta, por ejemplo la zona más antigua de la fractura está rellena con esfalerita de alta temperatura la cual está sustituida por galena y finalmente por estibinita que es la de más baja temperatura en la zona más joven de la fractura. El gradual ensanchamiento de la mineralización da como resultado un espesor mayor de la veta.

Los movimientos en los planos de juntas diferentes (fig. 4.4.a.) pueden ser sincrónicos con la mineralización, también causan deformación postmineral, muchos depósitos minerales están afectados por fallas postminerales.

Las estructuras postminerales son estudiadas principalmente durante la exploración y el minado.

Las condiciones estructurales también influyen en la formación de yacimientos de carbón, los cuales muchas veces ocurren en depresiones tectónicas como los graben o zonas de sinclinal.

A continuación se describen las estructuras para los diferentes modelos de los tratados en este trabajo.

#### 4.4.1 MANTOS Y CHIMENEAS

En los yacimientos epigenéticos las estructuras superpuestas a las rocas han ejercido gran influencia en particular; las fallas, fracturas y pliegues, lo cual da origen a estructuras mineralizadas (mantos, chimeneas y vetas) que se forman posteriormente a la roca encajonante.

#### 4.4.2 VOLCANICOS

Se presentan generalmente mineralizaciones en forma de cuerpos estratiformes, o bien de forma diseminada dentro de los yacimientos singenéticos. Aunque en ocasiones forman vetas, pues los fluidos mineralizados siguen los planos de debilidad (fallas, fracturas) formando yacimientos epigenéticos como las vetas, filones y los stockwork.

#### 4.4.3 PIROMETASOMATICOS (SKARN)

Ciertos yacimientos de este tipo pueden conservar la estructura estratiforme de las rocas encajonantes, lo mismo sucede con las diseminaciones o cuando tienen forma lenticular.

#### 4.4.4 VOLCANOSSEDIMENTARIO

Estos depósitos se localizan en franjas regionales de rocas volcánicas controladas por fallas profundas desde la zona de Benioff, pueden ser transversales, diagonales y longitudinales con respecto al plano general de las estructuras tectónicas.

#### 4.4.5 MISSISSIPPI VALLEY

El factor principal para la localización de estos yacimientos es de carácter regional, la topografía karst o del paleofondo marino, etc.; en algunos casos se han reconocido la presencia de fallas que afectan al basamento y que estuvieron activas durante y después de la sedimentación, el desarrollo de áreas kársticas supone una cuenca calcárea que se ensancha por hundimientos progresivos de los bordes con lo cual se crea una red de cavidades debidas al drenaje de la cuenca.

#### 4.4.6 SEDIMENTARIO

Los yacimientos de plomo, zinc y cobre sedimentario se presentan en forma sinéctica como disecciones.

#### 4.5. GUIAS GEOQUÍMICAS

Las guías geoquímicas para la distribución incluyen los métodos de exploración basados en geoquímica de los elementos; el objetivo es la localización de anomalías geoquímicas en áreas donde el patrón químico indique la presencia de yacimientos; éstas anomalías están formadas por procesos ígneos o metamórficos a profundidad o sobre la superficie de la tierra por agentes de intemperismo o erosión o transportación superficial; las anomalías geoquímicas de origen hipogénico resultan por:

- a) De la variación local aparente en la composición original de la corteza terrestre, definiendo una distintiva provincia geoquímica especialmente favorable para la ocurrencia de un yacimiento en formación.
- b) Dispersión de elementos volátiles transportados en forma gaseosa.

Una de las técnicas utilizadas usa una solución ácida ácida-acetato de amonio que permite definir una reducción de onda polar o gráfica sobre 0.61 V. Esto permite definir perfectamente algunos gramos de plomo después de una separación inicial a partir del cuerpo de roca; esta técnica ha sido reportada para los análisis de silicatos, pero no ha sido aplicada ampliamente; por otro lado la absorción atómica ha sido sugerida, pero aparentemente por ser poco sensitiva, para la aplicación de rocas silicatadas.

En vista de la importancia de determinar pequeñas cantidades de Pb en una variedad de matrices, ha llamado la atención de nuevos reactivos para el plomo, sin embargo, muchos proponen que el ditizona es un reactivo de adecuada sensibilidad y está provista de complejos agentes de razonable selectividad, el reactivo en sí es verde oscuro y a veces negro, a veces de coloración verde en soluciones de cloroformo y el tetracloruro de carbono lo determina en poco tiempo, estas reacciones son acompañadas de iones-metálicos en solución para dar coloraciones altas, muchas veces café, naranja o rojo. En presencia de iones de cianuro solamente plomo, bismuto, talio y posiblemente el indio son extraídos como ditizonatos. El bismuto, talio e indio están presentes solamente en pequeñas cantidades en rocas silicatadas y no causan interferencia. Los cuatro elementos son separados desde el plomo en una concentración preliminar, el

procedimiento incluye la extracción de Pb complejo con ditiúlico-carbonato dentro de una solución orgánica.

Soluciones de ditizonato de plomo en tetracloruro de carbono (el solvente más frecuentemente usado), tiene un máximo de longitud de onda de absorción de 320 nm y está sujeta a la norma Beer-Lambart por arriba de las 3 p.p.m. de plomo, sin embargo sobre esta concentración las soluciones son probablemente sobresaturadas.

Una mezcla de ácidos clorhídricos y nítricos es utilizado para remover la sílice y para obtener el plomo y otros metales constituyentes en soluciones, la separación inicial a partir del hierro y del contenido de otros metales es por extracción de plomo complejo diethidicarbonato dentro de un solvente orgánico consistente en una mezcla de pentanol y tolueno al plomo es transferido a solución de agua por agitación con ácido clorhídrico diluido y es sumado a una solución amoniacal de ditizona conteniendo ácido potásico y methadisulfato de sodio. La coloración rojiza del dithozonato de plomo es extraído dentro del tetracloruro de carbono y la densidad óptica del extracto es determinado en 320 nm.

#### 4.6 BIBLIOGRAFIA

- Andrade T., Alfonso; Yañez A., Artemio; Soto M., Martín, 1988. La Colorada. Minas Mexicanas. Tomo 4. Soc. of Econ. Geol. Mexico.
- Benítez M., Jorge A., 1977. La investigación de técnicas de campo e interpretación geoquímica en el proyecto Sonora-Arizona en colaboración con el U.S.G.S. VI. Seminario Interno sobre exploración geológica-minera.
- Bravo N., José, 1986. Real de Angeles. Minas Mexicanas. Tomo 1. Soc. of Econ. Geol. Mexico.
- Butler, B.S. Some Inter-relations of structure, minerology and association with intrusive bodies in ore deposits.
- García L., Benito. 1961. La fotointerpretación como técnica auxiliar en las exploraciones geológicas. Tesis profesional. UNAM.
- Grip. E., 1953. Tracing of Glacial Boulders as an aid to ore. Prospecting in Sweden. Econ. Geol, Vol. 48. no. 8, 715-725.
- Kusvart, Milos and Bohmer, Miloslav, 1978. Prospecting and exploration of mineral deposits. Developments in Economic Geology, 8. House of the Czechoslovak Academy.
- Lugo Hupb, Jose, 1989. Diccionario geomorfológico. UNAM.
- Mckinstry, 1970. Geología de Minas. Ediciones Omega, S.A., España.
- Neuerburg, G. J., 1985. Scientific Knowledge and modern prospecting. Mineralium Deposita. Vol. 20.
- Newhouse, W. H. Structural features associated with the ore deposits described in this volume. Economic Geology.
- Payán Franco, Manuel, 1986. Charcas. Minas Mexicanas. Tomo 2. Soc. of Econ. Geol. México.

Peña B., Juan, 1986. Santa Eulalia. Minas Mexicanas. Tomo 3. Soc of Econ. Geol. México.

Portillo R., Nicolás y Osoria H., Amador. 1986. Rosario. Minas Mexicanas. Tomo 3. Soc of Econ. Geol. México.

Routhier, Pierre, 1963. Les Gisements Metalliferes. Editorial Paris.

Soc. of Economic Geologist. 1986, 1987, 1988. Minas Mexicanas. Tomo 1, 2, 3, y 4. Am. Inst. of Mining Met. and Petr. Eng.



## **CAPITULO 5. Prospección Geofísica**

### **5.1 Introducción**

### **5.2 Métodos Magnético Terrestre**

#### **5.2.1 Generalidades**

5.2.1.2 Instrumentos empleados en  
prospección magnética  
terrestre

5.2.1.3 Trabajo de campo

5.2.1.4 Interpretación

#### **5.2.2 Método de potencial natural**

5.2.2.1 Fundamento físico del método

5.2.2.2 Trabajo de campo

5.2.2.3 Método de potenciales

5.2.2.4 Método de gradientes

5.2.2.5 Interpretación

#### **5.2.3 Método de polarización Inducida**

5.2.3.1 Explicación Teórica

5.2.3.2 Parámetros de medición

5.2.3.3 Instrumentos empleados

5.2.3.4 Técnicas de medida en campo

5.2.3.4.1 Método Gradientes

5.2.3.4.2 Método bloques

5.2.3.5 Interpretación

#### **5.2.4 Método TURAM**

5.2.4.1 Generalidades

5.2.4.2 Parámetros observados

5.2.4.3 Dispositivos de medición

5.2.4.4 Trabajo de campo

5.2.4.5 Correcciones de la información

5.2.4.6 Equipo de medición

5.2.4.7 Interpretación

5.2.4.8 Modalidad propuesta en el ejemplo

### **5.3 Ejemplos de aplicaciones en México**

5.3.1 Método magnético terrestre en el Distrito  
Minero de Real de Angeles, Edo. de  
Zacatecas

5.3.1.1 Introducción

5.3.1.2 Localización

5.3.1.3 Objeto del estudio

5.3.1.4 Geología del yacimiento

5.3.1.5 Mineralogía

5.3.1.6 Investigación magnética terrestre

- 5.3.2 Estudio Geofísico con los métodos de polarización inducida, potencial natural y TURAM en el Area La Catalina, municipio de Guachinango, Jalisco
  - 5.3.2.1 Introducción
  - 5.3.2.2 Localización
  - 5.3.2.3 Objetivo del estudio geofísico
  - 5.3.2.4 Geología del depósito mineral
  - 5.3.2.5 Mineralogía
  - 5.3.2.6 Investigación geofísica
    - 5.3.2.6.1 Polarización inducida
    - 5.3.2.6.2 Potencial natural
    - 5.3.2.6.3 Electromagnético TURAM

#### 5.4 Conclusiones

#### 5.5 Bibliografía

## 5. PROSPECCION GEOFISICA

### 5.1 INTRODUCCION

El empleo de la prospección geofísica en la minería data del año 1640 con estudios magnéticos en la búsqueda de menas de hierro. Roberto Fox descubrió que las rocas presentaban polarización eléctrica espontánea y propuso este efecto para detectar dichas mineralizaciones, por el año de 1815.

Actualmente los instrumentos de medición se han adaptado en las exploraciones aéreas lo que permite una mayor rapidez y eficacia. Conforme los yacimientos se agotan, la industria relacionada con los recursos naturales minerales incrementa la investigación para el desarrollo de nuevos métodos geofísicos, para localizar nuevas fuentes de la materia prima que le permita satisfacer sus requerimientos.

En los estudios de prospección, es el geólogo quien escoge las zonas más prometedoras para el objeto en estudio y plantea los problemas concretos cuya solución exige de la geofísica. El geofísico entra en acción cuando se tiene a la vista información tal como mapas geológicos, topográficos, fotografías aéreas, etc., y determina el método y sus modalidades de aplicación.

Los resultados de los estudios geofísicos son manejados dentro de marcos geológicos conocidos, las propiedades físicas que se tratan deben ser compatibles a las propiedades físicas de las rocas asociadas con los yacimientos.

Gran parte del éxito depende de escoger los métodos adecuados al objeto buscado, así como del cuidado y eficiencia que se tenga al realizar el trabajo de campo; es responsabilidad del geofísico obtener la máxima información al menor costo posible.

El objetivo de este trabajo es el de presentar la aplicación de algunos métodos geofísicos en la búsqueda de depósitos minerales de plomo-zinc, en coordinación con los estudios geológicos, con el propósito de integrar el conjunto de técnicas de prospección para dichos metales.

La selección de áreas de interés se basa en observaciones de asociaciones litológicas, morfológicas y estructurales, las cuales han sido desarrolladas ampliamente en los capítulos anteriores para el tipo de yacimientos de plomo-zinc, estudiados.

La aplicación directa de las exploraciones geofísicas en la búsqueda de yacimientos minerales son principalmente en áreas vírgenes; sin embargo, viejos distritos mineros han sido reabiertos gracias a las nuevas ideas y técnicas aplicadas a la localización de estos materiales.

Es muy importante planear las diferentes fases de trabajo para obtener resultados congruentes con el objetivo buscado y calidad, tomando en cuenta la profundidad, amplitud y condiciones

del área por estudiar así como el tiempo disponible, se distinguen tres tipos de actividades exploratorias que a continuación se mencionan.

a) Trabajos de reconocimiento; el objetivo básico es determinar las características geológicas fundamentales necesarias para que pueda generarse la asociación del material buscado.

b) Trabajo de semi-detalle; se encauza a determinar las condiciones favorables del depósito mineral.

c) Trabajo de detalle; fundamentalmente define extensión, profundidad, volumen, calidad, etc., de los yacimientos que puedan existir en áreas de mayor posibilidad de acumulación.

Estos tipos de trabajos se realizan desde el aire, en la superficie, en el mar, en pozos de exploración y desde satélites.

El trabajo de campo consiste básicamente en un muestreo sistemático de campo afín al método empleado, se requiere un control exacto de la posición de los puntos muestreados con levantamientos topográficos de tal precisión según el objetivo, técnica y método a seguir.

Los datos obtenidos en estas observaciones de campo se ven afectados por señales indeseadas llamadas "ruido" que oscurecen la señal deseada. Estos ruidos pueden ser inherentes a los instrumentos de medición pero principalmente a los disturbios de los campos de fuerza que se generan en el subsuelo y la atmósfera, también a las características topográficas y contrastes geológicos del terreno.

Un factor muy importante para aplicar en particular un método geofísico es la relación señal-ruido; con esta relación se obtienen los parámetros de corrección y así se llevan los datos medidos a niveles de referencia en que pueden ser comparados; esta comparación se denomina anomalía. Las anomalías deben ser expresadas en términos geológicos considerando las diversas posibilidades de ocurrencia de los depósitos minerales, pues causan anomalías similares, pero al combinar diversos métodos geofísicos como los que se muestran en la tabla No. 1, las alternativas de interpretación se reducen.

La interpretación es el procesamiento de los datos geofísicos de campo por reglas empíricas, por juegos de curvas maestras provenientes de la simulación de datos de laboratorio y técnicas de computación en modelaje avanzado; en ésta última dadas las condiciones geológicas se obtiene respuesta geofísica de ese objetivo y se compara con la anomalía observada en forma repetitiva hasta lograr una equivalencia aceptable. Esta es una forma de invertir el problema con ayuda de técnicas matemáticas para deducir modelos lógicos directamente de los datos geofísicos; la calidad aumenta con más datos recabados y la perspicacia para suponer algunos factores geológicos esenciales.

TABLA No. 1.— SINOPSIS DE LOS METODOS GEOFISICOS DE EXPLORACION USADOS EN GEOLOGIA MINERA Y EXPLORACION DE MINERALES

METODO	UNIDADES	PARAMETROS	PROPIEDADES FISICAS	PRESENTACION	CAUSA DE ANOMALIAS	APLICACIONES
MAGNETICO	Gauss	Campo magnético terrestre	Susceptibilidad magnética y magnetismo remanente	Mapas y Perfiles	Concentraciones de magnetita, magnetopiritita y especaulaciones de hematita. Yacimiento irregular en basamento rocoso intrusivos máficos y roca volcánica. "Arenas Negras en sedimentos"	A. D. O.
GRAVIMETRICO	MGal	Aceleración de la gravedad	Densidad	Mapas y Perfiles	Cuerpos minerales dentro Roca intrusiva densa. Irregularidad en el basamento rocoso Capas irregulares y Domos ónticas	A. D. O.
<b>ELECTRICOS</b>						
Potencial Espontáneo	Milivolt	Potencial natural	Conductividad y Acción Electroquímica	Mapas y Perfiles	Yacimientos conductores Gráfico	D
Resistividad	Ohm por metro	Resistividad aparente con corriente aplicada	Resistividad o Conductividad	Mapas, perfiles y Curvas de resistividad aparente	Yacimientos conductores Estratos conductores y resistivos, fisuras con fluidos conductores	D. O.
Cuerpo Cargado (Masa o la Masa)	Milivolt	Campo potencial con fuente electrodica sobre el yacimiento	Conductividad	Mapas y trazos de secciones	Continuación de yacimientos localizados	D
Polarización Inducida	Milivolt por volt y unidades derivadas Voltaje transitorio (Sobrevoltaje) Decayendo después de un pulso continuo (Dominio Temporal)	Resistividad aparente en dos o más frecuencias (Dominio frecuencial)	Efectos electroquímicos Conductores (fluidos) y electrolitos (metales)	Mapas y perfiles Trazos de secciones	Yacimientos conductores Mineralización diseminada Gráfico, Serpentina, dióxido de azufre y nicas	D
ELECTRO-MAGNETICO	Ohm por metro (conductividad) ángulo inductivo de bobina receptora milivoltios por ampere, perfiles por millón del campo primario y en fase radio de cuadratura	Campo electromagnético inducido	Conductividad	Mapas, perfiles, perfiles empalmados, mapas vectoriales	Yacimientos conductores, Gráfico, circuitos acústicos	A. D.
AUDIO FRECUENCIAS MAGNETOTELURICAS (AMFAG)	Las mismas para electromagnético	Pulsos electromagnéticos naturales (Tormentas)	Conductividad	Igual como electromagnetismo	Igual como electromagnetismo	A
SISMICO	Distancia - Tiempo	Velocidad de ondas sísmicas	Elasticidad	Secciones de tiempo de recorrido	Capas y basamento rocoso irregular	D. O.

METODO	UNIDADES	PARAMETROS	PROPIEDADES FISICAS	PRESENTACION	CAUSA DE ANOMALIAS	APLICACIONES
<b>RADIOACTIVOS</b>						
Radioisótopos	Cuentas por tiempo Resúmenes por tiempo. Ecuivalencias de partes por millón de uranio, torio y potasio o unidades de concentración radioactiva (U)	Radición natural gamma proveniente de minerales de uranio, torio y potasio.	Radioactividad	Perfiles y mapas "empalmados"	Yacimientos de uranio. Depósitos de potasio. Zonas de potasio alterado. Rocas graníticas intrusivas.	A, D, O.
Actividad Nuclear		Radación gamma después de bombardear con neutrones	Radioactividad		Yacimientos de berilio (berilismo). Minerales hidrogenados (regato de pozos). Yacimientos minerales (regato de pozos).	D.

Donde:

- A - Incluye aplicaciones aéreas
- D - Incluye registro de pozos
- O - Aplicaciones marinas

## 5.2 METODO MAGNETICO TERRESTRE

La aplicación más directa de este método es en las menas de hierro, pues su principal mineral es la magnetita, sin embargo se utiliza en la búsqueda de otros minerales comerciales ya que se presentan minerales magnéticos como accesorios de algunos yacimientos de metales no ferrosos.

Aparte del efecto directo de los minerales en sí, los métodos magnéticos dan la información que conduce al descubrimiento de menas; se usan para trazar contactos sepultados, para cuerpos ígneos básicos que contrastan físicamente con los sedimentos que los rodean, revelan discordancias, mantos basálticos y cualquier rasgo estructural por medio de contrastes magnéticos.

### 5.2.1 GENERALIDADES

#### - EL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE.

Se han elaborado diversas teorías para explicar el origen del campo magnético terrestre, seguramente el fenómeno surge como una combinación de corrientes eléctricas y la teoría de la dínamo con auto excitación como lo han sugerido W. M. Elsasser (1946) y E.C. Bullard (1948), la fig. 5.2.1.a, muestra un modelo sencillo para ilustrar la idea básica.

Debido a la rotación de la tierra se genera un campo magnético inicial  $H$ , el disco  $D$  gira sobre su eje  $C-C'$ , la fuerza electromotriz  $E$ , que induce  $H$ , en cualquier punto del disco está dada por  $E=V \times H$ , donde  $V$  denota la velocidad lateral del punto, el borde del disco se conecta a un selenoide circular  $S$ , que gira al igual que  $D$ , el selenoide a su vez está conectado a  $C-C'$ , suponiendo que estos dispositivos están hechos de materiales eléctricamente muy conductivos, debido a  $E$  circulan corrientes a través de  $D$ ,  $S$  y  $C-C'$  creando un circuito cerrado. La corriente en  $S$  crea un campo magnético paralelo al campo  $H$ , y se suman para que  $E$  sea mayor, si aumenta la velocidad del disco,  $H$  se incrementa como un sistema de dínamo de autoexcitación, que es precisamente el modelo tipo de dínamo que se pudiera presentar en el núcleo terrestre.

No se dispone de elementos suficientes para un modelo teórico certero del campo magnético terrestre, en la práctica del método magnético se enfoca a definir las variaciones de éste en la superficie.

La fig. 5.2.1.b, representa una forma esquemática de las líneas de fuerza correspondiente al campo magnético de una esfera homogénea imantada. Por la dirección que indican las líneas de flujo magnético se puede apreciar que el polo norte magnético corresponde al polo positivo de la barra magnética hipotética y viceversa.

TABLA No. 5.2.

MAGNETOMETROS ELECTRONICOS COMERCIALMENTE  
DISPONIBLES PARA PROSPECCION TERRESTRE.

TIPO	FABRICANTE	MODELO	COMPONENTE MEDIDA E I & Z	READOUT DISPLAY	SENSIBILIDAD	RANGO K = 100	PESO	ABASTECI- MIENTO
DESCRIMI- NADOR DE FLUJO	ADAMS MARINE (CANADA)	SABLE MARK 2	Z	METER	20 q / div	100 K	4 Kg	9 VDC Transistor cell
	LITTLEMORE (UK)	ELSEC 781	Z Y grad. vertica)	LCD Bar	0.5	+ - 5,000 q/m	4.6 Kg	Bateria de plomo ácido de 18 V.
	Mc PHAR (CANADA)	M 700	Z	METER	20 q / div	+ - 100 K	3.8 Kg	18 VDC 9V or C cells
	PHOENIX (CANADA)	MV-1	Z	METER	20 q / div	+ - 100 K	1.7 Kg	2 X 6 V gel-cell batteries
	SCINTREX (CANADA)	MP2-100 MPD-4	Z Z	METER 5 digit I.R.D	20 q / div 1	+ - 200 K	2.8 Kg	24 VDC cell 4D cell or 6V Pb- acid battery
PRECISION NUCLEAR	AUSTRAL (AUSTRALIA)	PPM - 1	II	5 digit	1	20 a 100 K	6.8 Kg	12 / 15 VDC D cell oith-acid battery
	BARRINGER (CANADA)	GM - 122	II	5 digit	1	20 a 100 K	5.1 kg	18 VDC 12 D cell
	GEOMETRICS (US)	G 816	II	5 digit	1	20 a 100 K	2.8 kg	18 VDC D cell
		G 836	II	5 digit	1	20 a 100 K	2 kg	12 VDC
	LITTLEMORE (UK)	ELSEC 595	II	5 digit nixie	1	24 a 72 K	6.7 Kg	17 VDC Nicaid battery
	SCINTREX (CANADA)	MP - 4	II	LCD	0.25	20 A 90 K	2.5 Kg	18 VDC D cell
ABSORCION ATOMICA	VARIAN (CANADA)	VIW 2302	Ily grad.	LED AUDIO	0.1 q and 0.1 / m	20 a 100 K	12.5 Kg	30 VDC 5 gel-cell batteries



TABLA No. 5.3..

## SUSCEPTOMETROS COMERCIALMENTE DISPONIBLES

FABRICANTE	MODELO DESIGNADO	TIPO	FRECUENCIA DE OPERACION HZ	READOUT DEVICE	RANGO (K = 1000) X 10 cps	EXACTITUD	PESO Kg	ENERGIA SUMINISTRADA
Instrumentos Bison (US)	31 o 1A	In situ y lab.	----	Digital dial & meter	1 - 100 K	5% abs. 1% relat.	4.5	2 x 5.4V Hg Cell
Elliot Geophysical (US)	PP2A	In situ y lab.	----	2 digit	100-99 K	100 x 10 egu	0.5	
Instituto de Geofísica aplicada (Ex-Checoslovaquia)	KT - 3	In situ y lab.	10 KHz	meter	300-40 K	5% abs.	1.25	6 D Cell
	Kappabridge KLY - 1 *	lab.	970 Hz	meter	16-7960	+ - 0.05 del rango	60	115 / 220 VAC
SCINTRIX (Canadá)	CTU - 2 **	In situ y lab.	5kHz	meter	100-40 K + - 10% rel. + - 2%	absoluta	3.5	9 D cell

\* Sólo medidas de anisotropía.

\*\* Sólo medidas de polarización inducida y conductividad.

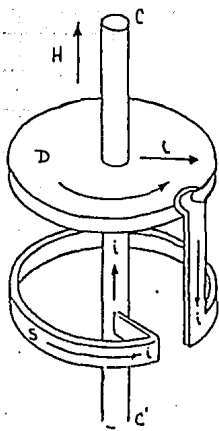


Fig. 5.2.1. a Modelo teórico para explicar el origen del campo magnético terrestre.

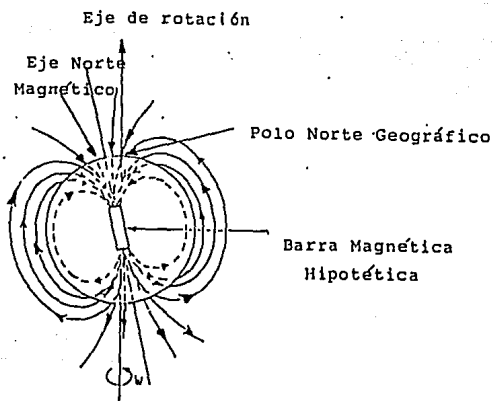


Fig. 5.2.1. b Líneas de fuerza del campo magnético de una esfera homogénea imantada.

Para caracterizar el campo magnético terrestre en un punto sobre la superficie terrestre es necesario definir los siguientes parámetros, de la fig. 5.2.1.c, se tiene que:

- D - Declinación Magnética: Es el ángulo formado entre los meridianos geográfico y magnético, es positiva si el meridiano magnético se encuentra al este del meridiano geográfico.
- I - Inclinación Magnética: Es el ángulo medido del meridiano magnético con la horizontal.
- Z - Componente Vertical del campo magnético.
- X - Componente Horizontal del campo magnético en la dirección del Norte Magnético
- Y - Componente Horizontal del campo magnético en la dirección este-oeste
- H - Campo Magnético Terrestre o Intensidad del Campo Magnético Terrestre, también denominada F.
- $H_y$  - Componente del Campo Magnético Terrestre contenida en el plano XY.

Las definiciones correspondientes a las propiedades y principios físicos en que se basa el método magnético se pueden consultar en Dobrin, (1975) y Del Valle (1987).

#### 5.2.1.2 INSTRUMENTOS EMPLEADOS EN PROSPECCION MAGNETICA TERRESTRE

Desde la pasada década los magnetómetros usados en superficie y en trabajos aéreos han mejorado considerablemente, son pequeños y confiables debido al desarrollo de los circuitos integrados. Existe una gran diversidad de equipo para medir alguna de las componentes de campo magnético, todos los instrumentos utilizan un elemento magnético conocido del cual se analiza su comportamiento dentro del campo magnético terrestre.

En las investigaciones superficiales los magnetómetros del tipo de balanzas casi han sido reemplazados en el mundo por aparatos electrónicos, se trabaja más rápido y son más sensibles. Principalmente se utilizan en la actualidad en exploración mineral los magnetómetros tipo discriminador de flujo y el de precección nuclear. Tabla 5.2.

Todos estos magnetómetros se sujetan con la mano y operan con baterías recargables o celdas.

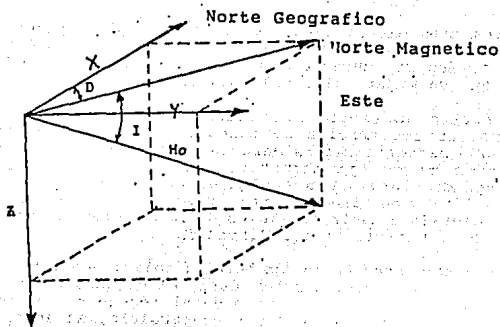


Fig. 5.2.1. c Los parámetros magnéticos:

El magnetómetro discriminador de flujo, hace uso de un elemento ferromagnético de una permeabilidad tan elevada que el campo terrestre puede inducir en él una magnetización que es una proporción considerable de su valor de saturación. Si se superpone un campo terrestre ambiente es en el lugar que corresponde en el ciclo energizante cuando se llega a la saturación.

Los magnetómetros discriminadores de flujo típicos pesan de 1.5 a 4 Kg. miden la componente vertical del campo magnético terrestre, se transporta durante las investigaciones por medio de una correa que se sujeta al cuello del operador.

Los magnetómetros de precesión nuclear se fundamentan en que aproximadamente los dos tercios de todos los núcleos atómicos tienen un momento magnético, considerados como diminutos imanes girando alrededor de su eje magnético, que van a orientarse paralela o perpendicularmente a cualquier campo exterior, los núcleos que se alinean en dirección no-paralela, tienen un nivel de energía más elevado y según las leyes de la mecánica cuántica habrá una fuerza resultante en esa dirección.

El agua que está contenida en una botella polarizada sólo por el campo terrestre y una bobina sobre ésta, el oxígeno no tiene momento magnético y el protón o núcleo de hidrógeno sí, el más simple, con la propiedad de orientarse no-paralela, al aplicar un campo externo de 100 veces el terrestre pero en ángulo recto, la resultante apuntará casi en la dirección de éste, en este caso es la misma dirección al campo aplicado, de forma exponencial el campo interior alcanzará dicho valor. Al desaparecer el campo magnético exterior, el momento magnético recobrará su valor y dirección primitivos en el campo terrestre  $H$  por precesión en torno a este campo, con una frecuencia de 2000 CPS y velocidad angular  $W = \gamma H$  donde  $\gamma$ , es la relación giromagnética del protón y es constante.

Esta oscilación precesional induce un potencial eléctrico en la bobina arrollada en la botella y con la medida de la frecuencia de este voltaje inducido se puede determinar el campo total terrestre.

### 5.2.1.3 TRABAJO DE CAMPO

Los procedimientos típicos empleados en investigaciones minerales dependen de la anomalía esperada, si es de poca magnitud, las distancias de las estaciones deben ser pequeñas, la orientación de las líneas de observación se eligen de acuerdo a la geometría del cuerpo anómalo en cuestión, de preferencia perpendicular al rumbo predominante para que resalten los contrastes magnéticos.

Con los magnetómetros convencionales se mide la componente vertical del campo terrestre con una precisión de 1  $\gamma$ , tal

precisión se obtiene orientando el eje del núcleo con la vertical con una desviación máxima de 11" de arco, situación difícil de satisfacer en el terreno, por esto los magnetómetros discriminadores de flujo empleados en la prospección, miden campos totales, poseen un mecanismo de orientación automático y el eje del elemento discriminador de flujo apuntando en la verdadera dirección del campo magnético terrestre.

Las lecturas magnéticas pueden hacerse a intervalos de 3 m a 300 m a lo largo de líneas transversales al yacimiento o cuerpo mineral según las dimensiones que éste presenta o se suponga.

Las medidas de susceptibilidad y magnetización remanente de las rocas que se relacionan al objetivo se realizan con muestras de laboratorio o sobre afloramientos. En la Tabla 5.3. se mencionan los tipos de medidores de la susceptibilidad disponibles comercialmente.

Es importante conocer estas propiedades magnéticas de la formación rocosa pues está comprobado que si tiene suficiente magnetización produce una anomalía dada o si la dirección del vector de magnetización difiere marcadamente del campo terrestre presente.

El PSM-1 es un instrumento portable, fue desarrollado por Schonstedt Instrument Company de Reaston, Virginia, el cual mide el magnetismo remanente de muestras de forma irregular, permite medidas virtuales de todas las rocas ígneas y algunos tipos de sedimentos con una exactitud de ( $\pm$ ) 10% del momento magnético y ( $\pm$ ) 5% el ángulo de la dirección.

Una línea de prueba con gran densidad de lecturas es útil para determinar el mejor intervalo de estación.

Los cambios en la lectura de una estación a otra puede indicar un cambio del valor de la susceptibilidad magnética de capas subyacentes y rocas adyacentes, o se puede deber a factores de ruido tal como la variación diurna, temperatura, instrumentos, etc., no deben haber cerca de las estaciones objetos de fierro, las vías de ferrocarril deben estar a más de 100 m, vehículos a 25 m, el operador debe portar la mínima cantidad de objetos con material magnético.

Si se trabaja con un magnetómetro se elige una estación base, se ajusta un itinerario para que después de hacer varias estaciones retornar a la base a realizar varias lecturas. Si se cuenta con dos aparatos no es necesario regresar a la base ya que uno se queda para registrar las variaciones en la estación base, como sea el procedimiento de campo, la diferencia entre las lecturas relativas al principio y al final del día es distribuida entre las estaciones hechas en ese lapso, con esto se obtiene la corrección por variación diurna. En el caso de la búsqueda de minerales, se puede determinar aproximadamente el campo magnético de fondo a cualquier hora a partir de las curvas de variación que proporcionan los observatorios magnéticos, si se cuenta con uno

próximo, si las variaciones son muy grandes como en caso de tormentas magnéticas se suspende el trabajo hasta que las condiciones vuelvan a ser normales.

El cambio de la temperatura produce un error de la lectura por expansión o contracción térmica de los elementos del instrumento, para corregir este efecto los fabricantes establecen curvas de variación del coeficiente de corrección, dentro de los rangos de temperatura de operación, si se requiere poca precisión esta corrección no es considerada, de lo contrario se corrige a una temperatura determinada.

La distribución normal del campo se determina recurriendo a las cartas de variación de las componentes magnéticas que se editan periódicamente por los observatorios magnéticos, como los mostrados en la fig. 5.2.1.3.a. Se observa que los intervalos son muy grandes, de miles de gammas y si se requiere de intervalos menores se interpolan y así se utilizan finalmente como regionales para ser restadas de las curvas basadas en el trabajo de campo, el resultado muestra la anomalía que debe ser separada.

En condiciones especiales también es conveniente realizar correcciones por efectos de la elevación del terreno.

En trabajos mineros donde los objetivos son someros, y las anomalías que producen son de tal magnitud, que pequeños cambios del terreno no afectan de manera sustancial la identificación de la anomalía. En investigaciones terrestres de gran extensión en donde el tiempo requerido para ir de una estación a otra es grande, se establecen estaciones base como referencia conforme se va desplazando el trabajo.

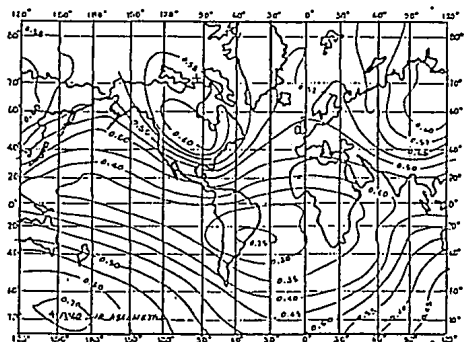
#### 5.2.1.4 INTERPRETACION

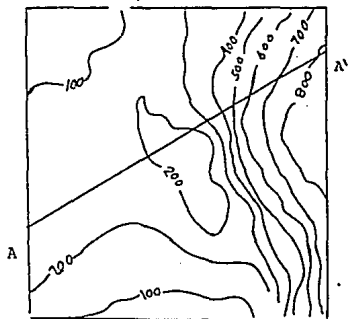
Los mapas y perfiles correspondientes a las lecturas magnéticas de campo corregidas se examinan para interpretaciones cualitativas; si se tienen cambios rápidos en el espaciamiento de las curvas, el perfil correspondiente sufrirá un cambio brusco de la pendiente, figura 5.2.1.4.a.

Cualquier cambio brusco representa una discontinuidad a profundidad; una falla, los límites de una cuenca sedimentaria, cambios laterales de la susceptibilidad magnética, por los efectos de varios cuerpos, etc. En áreas donde predominan rocas sedimentarias y que las rocas ígneas no se encuentran superficialmente, la anomalía magnética corresponde al "basamento magnético". Cambios de la polarización de las rocas correspondientes al basamento geológico provocan anomalías de alto valor, fácil de confundir con intrusivos someros, la interpretación se acerca más a la realidad cuando se conoce el marco geológico predominante del área.

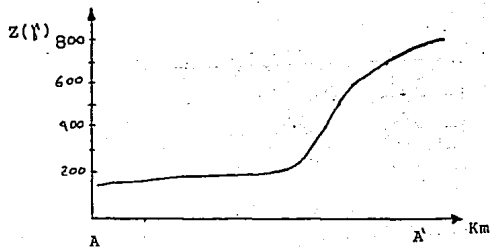
En minería se construyen mapas geológicos a partir de datos magnéticos que indican contactos de rocas, ejes de falla, dirección de buzamiento, etc. Se sobrepone el contorno magnético







a.



b.

Granito

Andesita

Fig. 5.2.1.4.a

a una fotografía aérea como una forma de tener más control de los rasgos geológicos, sin dejar de tomar en cuenta que una anomalía puede significar un relieve en la superficie del basamento o un cambio del valor de la susceptibilidad magnética. Cualquier inclinación del eje magnético de una masa enterrada puede ser indicada cualitativamente por una falta de simetría en el perfil magnético o mapa de contornos, la figura 5.2.1.4.b. ejemplifica lo anunciado que es el caso de un dipolo enterrado.

El cálculo de anomalías de superficie ocasionadas por masas enterradas más complejas magnéticamente que un simple dipolo resulta mucho más difícil, y sólo en algunos casos sencillos puede llevarse a cabo una interpretación analíticamente. Nettleton ha compendiado las fórmulas para calcular el efecto magnético de masas verticalmente polarizadas de formas geométricas comunes, estas permiten calcular el campo magnético vertical máximo que puede esperarse de estructuras ígneas típicas o concentraciones de minerales.

Los métodos de interpretación cuantitativa de los datos magnéticos requieren de un análisis de las variaciones de la susceptibilidad esperada, de la dirección de polarización de las rocas y la naturaleza bipolar de las fuentes de magnetismo, en este caso es probable calcular la forma y la profundidad de las masas minerales que originan las anomalías. Técnicas empíricas proporcionan la profundidad con cierta aproximación para el caso de anomalías bien definidas y los contrastes de susceptibilidad sean grandes, además se toma en cuenta la relación de la profundidad del cuerpo con la amplitud de la anomalía. Los efectos producidos por cuerpos cercanos a la superficie, se pueden eliminar por medio de suavizado.

Otras técnicas de interpretación cuantitativa se basan en procedimientos analíticos a partir de la teoría del potencial; con este método se grafican los efectos magnéticos calculados y se comparan con los obtenidos en el campo, con aproximaciones sucesivas se puede llegar al modelo que mejor se ajuste a la anomalía observada y luego por esta comparación se determina la forma y profundidad correspondiente al cuerpo geológico típico del área en estudio. La naturaleza de las condiciones del subsuelo es más compleja de lo que se puede esperar, las técnicas de modelaje presentan algunas restricciones, sin embargo manejada la información adecuadamente proporciona una referencia aceptable de las condiciones geológicas.

Los avances de las técnicas de procesamiento de datos implica la aplicación de filtros digitales y análisis de espectros de potencia, para enfatizar las componentes de alta frecuencia del campo magnético y separar el gradiente regional del campo magnético terrestre (Goodacre, 1989).

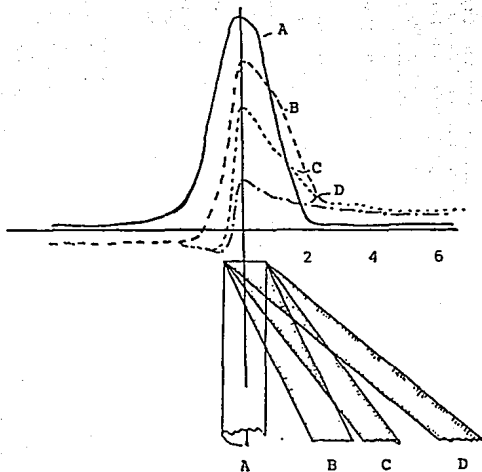


Fig. 5.2.1.4.b

## 5.2.2 METODO DE POTENCIAL ESPONTANEO.

Es el método más sencillo que se aplica en la actualidad; se emplea para localizar cuerpos conductores que se encuentren en condiciones mineralógicas determinadas, esto es, que el yacimiento se encuentre en una solución acuosa, que exista continuidad eléctrica arriba y abajo del nivel hidrostático y por último que las masas conductoras sean susceptibles a la oxidación por la acción atmosférica arriba de dicho nivel. Esta condición se cumple en la mayoría de los compuestos sulfurosos metálicos ya que se encuentran por debajo de la zona de oxidación y nivel freático.

Si por acción tectónica la zona de oxidación se encuentra debajo del nivel freático no se produce el fenómeno de potencial espontáneo.

La galena presenta un caso especial; es conductora y fácilmente oxidable, aun así no produce el fenómeno de potencial espontáneo; la asociación de minerales accesorios como la piritita, pirrotita o la magnetita producen potenciales observables en superficie.

### 5.2.2.1 FUNDAMENTO FISICO DEL METODO.

La explicación del método corresponde al campo de la electroquímica; cuando un cuerpo conductor se encuentra sumergido en una solución no homogénea, produce corrientes iónicas para restablecer la homogeneidad en la solución. En el cuerpo metálico se producen corrientes electrónicas las que a su vez proporcionan una repartición estable de potencial en superficie.

Otros efectos que contribuyen al fenómeno de potencial espontáneo son: potenciales de difusión, efectos de electro-ósmosis, corrientes telúricas, electrofiltración, y reacciones químicas que dependen de los minerales.

Se dice que un yacimiento de estas características se comporta como una pila de óxido-reducción, cuyo polo positivo se encuentra en las partes profundas del depósito y su polo negativo en la parte superior, donde los sulfuros están en proceso de oxidación, es decir a poca distancia del nivel hidrostático, la figura 5.2.2.1.a muestra la distribución resultante de las corrientes y la repartición de potenciales en la superficie del suelo.

La repartición de potenciales en el subsuelo se puede traducir por medio de las superficies equipotenciales, las que determinan líneas más o menos concéntricas. Los centros negativos corresponden a las partes más altas del cuerpo mineralizado e implica que un pozo o un tiro alcanza el metal a la menor profundidad.

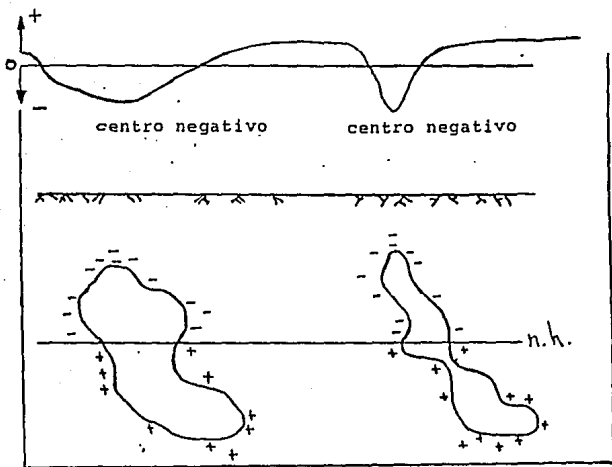


Fig. 5.2.2.1.a Perfil de potencial natural.

Diversos estudios físico-químicos indican que los parámetros que mas influyen para la generación de un potencial natural son: la composición química de las aguas subterráneas, composición mineralógica del cuerpo mineral y el medio encajonante, la resistividad del corte geoelectrico, velocidad de circulación de las aguas subterráneas e interacción de estas con las rocas y minerales (Orellana ,1972).

#### 5.2.2.2 TRABAJO DE CAMPO.

las anomalías que se producen en el fenómeno de potencial espontáneo presentan variaciones de centenares de mV, los cuales pueden ser medidos con electrodos porosos imporalizables los que consisten de una solución saturada de sulfato de cobre. La preparación de estos debe ser muy cuidadosa, para que el potencial eléctrico no exceda en 2 mV entre electrodos.

Un voltímetro de gran impedancia de entrada, capaz de medir y apreciar la polaridad de las tensiones comprendidas de uno a varios cientos de mV. Los electrodos imporalizables deben estar provistos de un mango largo que permita su rápida y cómoda colocación.

El cable puede ser de cualquier tipo flexible, ligero y con un buen forro aislado el cual puede ser transportado por medio de un carrete.

El trabajo de campo se puede efectuar en dos modalidades, una es el método de gradientes recomendable para estudios de detalle y el método de potenciales sugerido para trabajos de reconocimiento.

Durante el trabajo de campo se debe procurar que la temperatura sea constante y las estaciones de medición regarlas con agua o una solución pobre de sulfato de cobre, una hora de anticipación a las lecturas para evitar en lo posible los potenciales de electrofiltración ocasionados por la penetración del agua al subsuelo.

#### 5.2.2.3 METODO DE POTENCIALES

Es el más empleado y consistente en situar puntos de observación o estaciones respecto a un punto fijo y a intervalos iguales, los puntos fijos se disponen sobre una línea base como se muestra en la figura 5 2.2.3.a

El instrumento de medida se coloca en la proximidad del punto "o" del perfil que va a estudiarse; a unos decímetros de distancia de este origen se excava un pozo y se riega para colocar el electrodo N, M se coloca primeramente en "o" y luego en las estaciones 1,2,3,..., la primera lectura corresponde a la polarización P, de los electrodos.

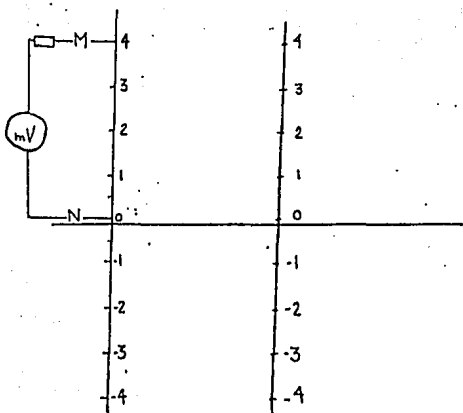


Fig. 5.2.2.3.a Método de potenciales.



Los valores obtenidos se grafican en la curva distancia-potencial a escala lineal, la curva resultante se acompaña de una recta horizontal con el valor obtenido en "o" y así se logra un valor de corrección directamente sobre la recta.

Al terminar la última estación se retrocede repitiendo medidas en algunos puntos para mayor control de la calidad; así se continúa con las estaciones situadas al otro lado del punto "o" fijo. Si el perfil es muy largo, el trabajo se puede efectuar cambiando la posición del electrodo N, de manera que la medición se proceda a intervalos.

Las curvas de potencial se enlazan por medio de puntos comunes y superponiéndolas se pueden realizar enlaces en los extremos de los perfiles; cuando la zona de estudio se ha dividido en varios rectángulos, estos se enlazan mediante un perfil común o algún itinerario de enlace.

Los enlaces no se realizan en zonas de anomalía, perturbaciones o malos contactos; se aconseja realizar estas observaciones al final del trabajo y ver las causas entre la línea base y otra paralela a ella, las curvas de potencial en los diferentes perfiles se comparan entre sí hasta el final.

#### 5.2.2.4 METODO DE GRADIENTES

Este método es más lento y delicado, útil en lugares con perturbaciones apreciables de origen natural o industrial. Se realizan sucesivas mediciones de potencial,  $V_1=V_1-V_0$ ;  $V_2=V_2-V_1$ ; etc., entre cada dos estaciones contiguas al perfil, con separaciones de 20 a 25 m en general y de 5 a 10 m en zonas de anomalía. La fig. 5.2.2.4.a muestra el caminamiento que el operador realiza, sugiere la medición en polígonos cerrados con la ventaja que el error se controla al cierre.

Cómo las diferencias de potencial son menos intensas que en la modalidad anterior, se tiene un efecto debido a los electrodos, el cual puede corregirse en caso de ser necesario conocer con exactitud el valor del gradiente en alguna estación determinada. La suma algebraica de los  $V_i$  al dar la vuelta al polígono debería valer cero, sin embargo, la precisión de los aparatos, las variaciones de las corrientes eléctricas parásitas, los errores de apreciación en las lecturas, etc., conducen a un valor "e" denominado error de cierre, sinónimo de calidad en las mediciones realizadas.

$$e = \frac{100 |e|}{\sum |\Delta V_i|}$$

en tanto por ciento.

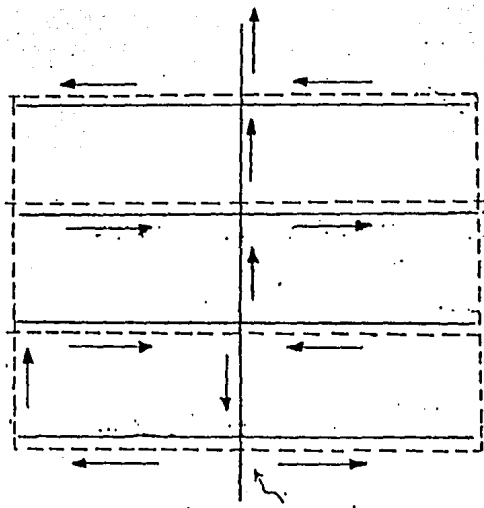


Fig. 5.2.2.4.a

comienso

Método de gradientes.

Si  $p \leq 5\%$  se considera al trabajo satisfactorio, de lo contrario debe repetirse la operación. Una mala lectura influye en todas las demás, ya que "e" se reparte en "n" partes correspondientes a los intervalos del polígono.

Si el electrodo colocado a la izquierda tiene mayor potencial que el colocado a la derecha se considera la lectura positiva y negativa en caso contrario. Varias lecturas grandes sucesivas y luego un cambio de signo en el potencial, determinan a las zonas de anomalías y se detallan con el método de potenciales con intervalos más pequeños.

#### 5.2.2.5 INTERPRETACION.

##### a. CUALITATIVA.

Los resultados se presentan en forma de mapas de equipotenciales; junto a cada línea se escribe el valor y signo del potencial correspondiente. El yacimiento mineral representa un dipolo, con carga negativa en su parte superior y la línea que la une con su parte inferior positiva se le denomina eje del dipolo o de polarización.

Si la configuración representa a líneas equipotenciales de valor decreciente circulares, se puede decir que el cuerpo es isométrico, con eje de simetría vertical que coincide con el eje de polarización y el centro negativo a su vez con el epicentro del polo superior del cuerpo.

Si las equipotenciales son líneas cerradas alargadas en forma de óvalos o elipses, dará como resultado que la proyección horizontal del eje de polarización coincida con la dirección del rumbo de la dimensión mayor de las equipotenciales.

Los efectos topográficos abruptos tienden a desplazar los centros negativos de la anomalía. Un conjunto de perfiles normales al rumbo del cuerpo mineralizado indican de igual manera la forma y extensión de la anomalía.

##### b. CUANTITATIVA.

Con objeto de obtener mayor información acerca del ancho del cuerpo, extensión, profundidad y ángulo de polarización, se han calculado monogramas a partir de la distribución de potencial alrededor de cuerpos polarizados de forma sencilla, las observaciones de campo se comparan con estos modelos y se elige el que más se asemeja a condiciones intermedias de estos modelos (Satyonarayana y Haricharan, 1985).

### 5.2.3 METODO DE POLARIZACION INDUCIDA.

El presente método se emplea para localizar yacimientos conductores como son los del plomo-zinc. La polarización inducida es un fenómeno que se produce en la interfase mineral metálico-electrólito, o sea, que se genera en la superficie de contacto del mineral conductor con la roca que lo contiene, a mayor superficie de contacto el efecto se superpone, como es el caso de las mineralizaciones diseminadas; si la mineralización es masiva posee una aureola de diseminación o bien está constituida por cristales cuyas caras son susceptibles de ser polarizadas.

#### 5.2.3.1 EXPLICACION TEORICA.

El fenómeno de la polarización inducida se visualiza de la siguiente forma: si al terreno le es aplicada corriente continua por medio de un par de electrodos en presencia de partículas metálicas, éstas se polarizan a lo largo de su superficie de contacto con el medio que les rodea. En dicha interfase se produce el cambio de conductividad iónica a la electrónica e inversamente. La fig. 5.2.3.1.a muestra cómo en las superficies opuestas del cuerpo se produce una acumulación de iones que no han cedido sus cargas, en el momento de suprimir la corriente suministrada, los iones retoman su estado inicial, o sea, la polarización desaparece en un cierto tiempo que depende de las propiedades de los materiales subyacentes.

La diferencia de potencial en los electrodos M y N, no desaparece bruscamente, de la misma manera la corriente aplicada tarda en establecerse; se recomienda sea aplicada durante un lapso de tres minutos.

En rocas carentes de substancias metálicas se puede presentar el fenómeno de polarización inducida, este efecto es conocido como polarización de membrana, diferente a la polarización de interés también llamada polarización de electrodo mencionada.

Una roca porosa saturada de un electrólito permite el paso de corriente eléctrica, si se encuentran minerales de arcilla atraen iones positivos del electrólito, con lo que se produce alrededor de cada partícula de arcilla una capa cargada al ser aplicada una corriente eléctrica, al interrumpir dicha corriente el efecto tarda en desaparecer, lo que produce incertidumbre en las respuestas de polarización inducida (Parasnis, 1971).

La principal aplicación del presente método es para minerales conductores diseminados; la esfalerita no es conductora, pero suele presentarse con abundante galena y así ser descubierta.

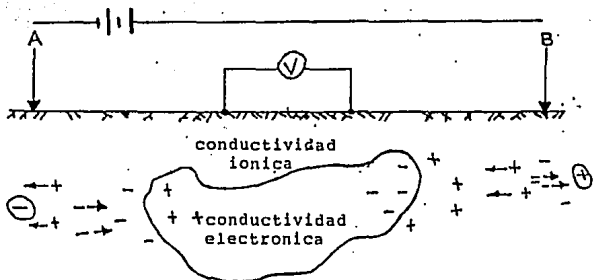


Fig. 5.2.3.1.a

Efecto de polarización inducida.

### 5.2.3.2 PARAMETROS DE MEDICION.

Existen dos modalidades en la medición del fenómeno de la polarización inducida:

- a. Dominio de la frecuencia.
- b. Dominio del tiempo.

En el dominio de la frecuencia resulta ser un método lento y susceptible de contaminarse en la toma de datos por efectos de acoplamiento electromagnético, es costoso y difícil de interpretar.

En el dominio del tiempo el objeto de las mediciones es detectar la polarización inducida, denominado dentro de los procesos electroquímicos que se originan en las rocas bajo la influencia de una corriente continua, que circula por ellas y que se manifiesta por la aparición de diferencias de potencial secundarias.

El fenómeno de polarización inducida en el dominio del tiempo es cuantificable por medio de los parámetros de la polarizabilidad, cargabilidad y factor metálico.

**POLARIZABILIDAD (P).** Se define como la relación de amplitud del voltaje secundario o voltaje de decaimiento, medido un tiempo después del corte de la corriente eléctrica,  $V_s(t)$ , con la amplitud del voltaje primario,  $V_p$ .

$$P = \frac{V_s(t)}{V_p} \dots\dots\dots(1)$$

El voltaje secundario es mucho más pequeño que el primario, por lo que es usual que el efecto de polarización inducida se exprese en milivoltios por voltio ( $mV/V$ ), si ambos voltajes se expresan en las mismas unidades,  $[V_s(t)/V_p]$ , la relación es adimensional y comúnmente se expresa como un porcentaje.

**CARGABILIDAD.** Posiblemente sea el parámetro que más se utiliza en este tipo de levantamientos. La fig. 5.2.3.2.a, muestra la curva de decaimiento ó descarga en la cual es posible medir el área encerrada en un intervalo de tiempo  $t$ , tal cantidad se normaliza para obtener la cargabilidad aparente,  $M$ . Matemáticamente se expresa a continuación:

$$M = \frac{1}{\Delta V} \int V_p(t) dt \dots\dots\dots(2)$$

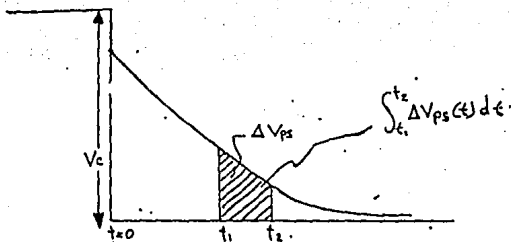


Fig. 5.2.3.2.a Curva de decaimiento.

La amplitud de las cantidades medidas depende del intervalo de integración, así como del tiempo de carga. Por razones prácticas la curva de decaimiento sólo se muestrea una o varias veces en determinados intervalos de tiempo.

Debido a que el voltaje secundario se recibe con niveles de amplitud muy bajos, las mediciones son susceptibles a contaminarse con distintos tipos de ruido; para evitar esto, el voltaje secundario se integra por lo común a los 0.45 s.

**FACTOR METALICO APARENTE.** Es una forma de representar la polarización inducida, fácil de calcular y muy útil durante la etapa de interpretación. En el dominio del tiempo se define a este parámetro como la relación que existe entre la cargabilidad y la resistividad aparente .

$$FM = \frac{M}{a} \dots\dots\dots (3)$$

Se deduce que en las zonas de baja resistividad y con mineralizaciones metálica de buena respuesta a la cargabilidad esta relación adopta valores muy grandes.

### 5.2.3.3 INSTRUMENTOS EMPLEADOS.

En levantamientos de campo por el método de polarización inducida se requiere en general del equipo que muestra la figura 5.2.3.3.a, sus componentes se describen a continuación:

1.- Una unidad de potencia que en general es un motor de combustión interna acoplado a un generador de tipo trifásico, capaz de producir una corriente alterna en un rango de 50 a 400 Hz. Según el objetivo la potencia puede variar de más de 20 Kv.

2.- Un transmisor-rectificador que consiste de una unidad que tiene la función de rectificar y transformar la corriente alterna de la unidad de potencia a corriente directa ó alterna de baja frecuencia. Esta corriente alterna tiene la forma de onda cuadrada y es transmitida al terreno, por medio de dos electrodos, como una serie de pulsos de corriente directa con un ciclo de transmisión predeterminado, un tiempo de reposo y un nuevo tiempo de trasmisión. Cuando no se envía corriente al terreno la energía producida por el motor generador se disipa por medio de un elemento resistivo (carga fantasma).

3.- Una unidad de recepción; es un dispositivo electrónico capaz de eliminar el potencial natural y que puede medir los valores de polarización inducida cuando se interrumpe la corriente.



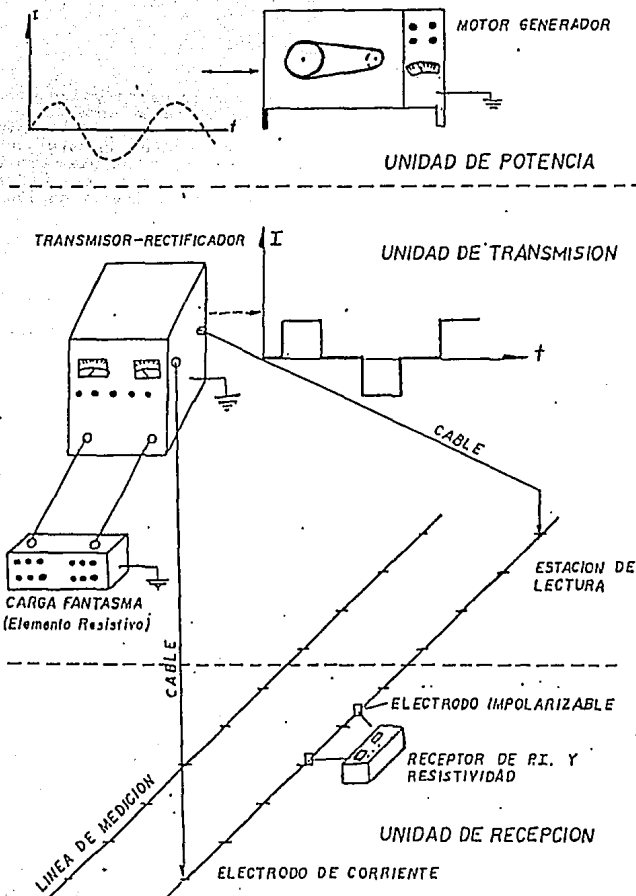


Fig. 5.2.3.3.a EQUIPO DE MEDICION PARA POLARIZACION INDUCIDA Y RESISTIVIDAD

#### 5.2.3.4 TECNICAS DE MEDIDAS EN CAMPO.

Los dispositivos empleados en mediciones de polarización inducida son gradientes y bloques. La elección depende de la dimensión de las estructuras geológicas buscadas y del dominio que se trabaje, por lo general durante el período de carga en el dominio del tiempo se obtiene un registro de datos que permiten el calculo del valor de la resistividad aparente, es una gran ventaja ya que los costos son absorbidos en la investigación de polarización inducida.

##### 5.2.3.4.1 METODO DE GRADIENTES.

Es un dispositivo empleado en trabajos de reconocimiento, se efectúa sobre la línea del dipolo AB, de corriente como se muestra en la fig. 5.2.3.4.1.a. Las lecturas se hacen entre los electrodos de potencial M y N, los que se desplazan a lo largo de la línea de investigación a intervalos  $a = MN$ .

En campo se trabaja sobre el tercio central de AB, pues se considera que el campo es horizontal; si se requiere mayor profundidad se incrementa la distancia entre los electrodos A y B. Las anomalías débiles se enfatizan variando M y N, se aumenta y disminuye el intervalo de muestreo en  $a/2$ . Las lecturas se grafican en el punto medio de MN.

##### 5.2.3.4.2 METODO DE BLOQUES.

Es una variante del anterior, el trabajo se realiza sobre líneas paralelas a la línea AB; la separación entre éstas depende de las dimensiones de la estructura estudiada. La fig. 5.2.3.4.2.a, muestra el arreglo bloques que se utiliza.

Es recomendable que antes de emprender el estudio de manera sistemática, se efectúen medidas de prueba, así se contará con resultados para comparaciones posteriores.

##### 5.2.3.5 INTERPRETACION.

En esta etapa se infiere el tamaño, inclinación y profundidad de las mineralizaciones detectadas; las conclusiones obtenidas permiten programar adecuadamente las obras directas posteriores, con la ayuda de la información geológica disponible.

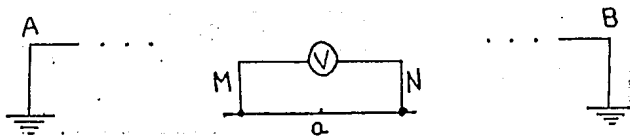


Fig. 5.2.3.4.1.a Método de gradientes.

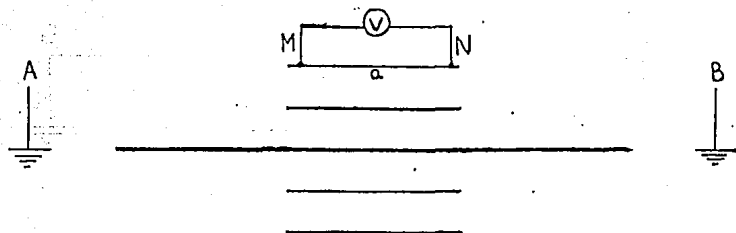


Fig. 5.2.3.4.2.a Método de bloques.

Al seleccionar las anomalías se estudian con más detalle; si la curva de polarización inducida es simétrica se infiere un cuerpo vertical, de lo contrario la parte con menor pendiente indica el sentido en que buza el cuerpo anómalo.

Si la anomalía es muy intensa en milisegundos se considera que la originan minerales diseminados, lo contrario se adjudica a un cuerpo polarizable masivo.

Aproximaciones cuantitativas se obtienen con el empleo de curvas patrón obtenidas teóricamente y con técnicas de modelado físico para determinar la extensión lateral, cima y echado del cuerpo polarizable. La etapa final de interpretación presenta mayor dificultad, pues se necesita un sistema de computo de gran capacidad y el empleo de métodos numéricos para modelado, utilizando las técnicas de diferencias finitas o elemento finito.

#### 5.2.4 METODO TURAM.

La aplicación directa del método TURAM es para la exploración de minerales metálicos, principalmente si se presentan en yacimientos masivos, es uno de los más efectivos de entre los métodos electromagnéticos de campos variables con el tiempo. Se sugiere el presente método en yacimientos minerales que presentan continuidad electrónica y para detectar zonas de falla milonitizadas y húmedas. Si existe roca conductora superficial se genera un acoplamiento electromagnético, el cual oscurece la respuesta de cuerpos mineralizados a mayor profundidad.

##### 5.2.4.1 GENERALIDADES.

El fundamento físico del fenómeno se basa en la inducción electromagnética; el campo inductor se produce con cables largos aterrizados o bobinas aisladas.

Las mediciones consisten en comparar en amplitud y fase los campos magnéticos inducidos, por medio de dos bobinas interconectadas eléctricamente por medio de un compensador tipo puente a lo largo de perfiles paralelos entre si. Por este par de bobinas el método recibe el nombre de TURAM, ya que en el idioma sueco turam significa "dos bobinas" (Orellana, 1974).

##### 5.2.4.2 PARAMETROS OBSERVADOS.

En el método TURAM las relaciones entre intensidades de campos magnéticos primario y secundario ( $H_p$  y  $H_s$ ), y el ángulo de fase  $\phi$ , son muy valiosas ya que proporcionan una idea del

campo anómalo del subsuelo y de la posible existencia de un cuerpo conductor subyacente. Se emplea un campo primario estacionario en el terreno y un sistema de recepción móvil que le da la ventaja de ser rápido, económico y resolutivo.

Por lo tanto en el método TURAM, la relación de intensidad de campo  $H_s/H_p$ , y el ángulo de fase, constituyen los parámetros de medición a obtener durante una investigación geoelectrónica.

#### 5.2.4.3 DISPOSITIVOS DE MEDICION.

La fig. 5.2.4.3.a muestra los dispositivos de medición que más se emplean.

a. CABLE LARGO ATERRIZADO. Este dispositivo es adecuado para trabajos de reconocimiento, las respuestas de cuerpos conductores subyacentes son más intensas y el levantamiento es rápido y económico. Cuando se han detectado anomalías interesantes conviene realizar el trabajo con más detalle, empleando la modalidad de bobina aislada o malla.

b. BOBINA AISLADA O MALLA. Con este dispositivo inductor se obtienen parámetros del cuerpo anómalo detectado, tales como echado, profundidad al eje de corriente anómalo, etc.

En esta modalidad se tienen dos formas de empleo; si la estructura no se encuentra muy inclinada las mediciones de preferencia se realizan dentro de la bobina y si el echado es fuerte fuera de ella.

#### 5.2.2.4 TRABAJO DE CAMPO.

Para lograr un efecto máximo de acoplamiento inductivo entre el sistema de transmisión, la estructura mineral y las bobinas receptoras, el cable largo aterrizado o el lado mayor de la bobina emisora deben estar en posición paralela al eje principal de la estructura a estudiar; las líneas de medición deben situarse perpendicularmente al cable largo o el lado mayor de la bobina emisora; además, la longitud de estos debe ser igual o mayor al eje mayor de la estructura. La separación de las líneas de medición depende del objetivo geológico.

Para que el flujo magnético transmitido sea máximo dentro del plano de la estructura, es importante que el equipo de transmisión se encuentre del lado buzante del cuerpo geológico.

Las bobinas receptoras se desplazan a lo largo de cada línea y con ello se mide la relación de intensidad de campo y la diferencia de fase, en los campos captados por estas.

El punto de lectura se atribuye a la bobina más cercana al emisor; las siguientes expresiones matemáticas son las correspondientes a las medidas realizadas:

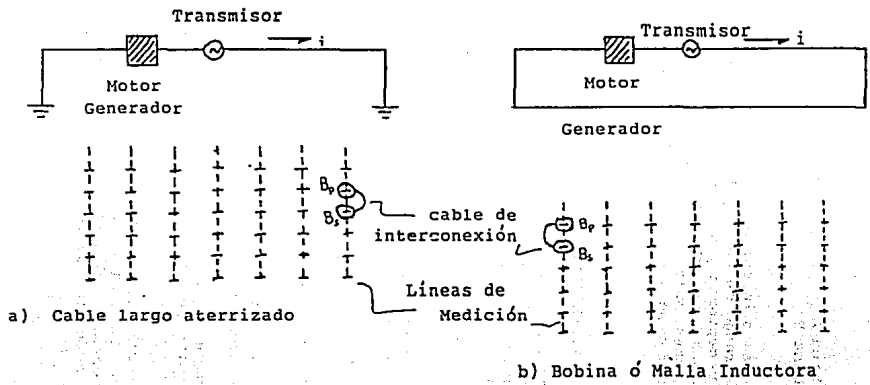


Fig. 5.2.4.3.a

$$R \text{ medida} = \frac{\Delta H_{ip}}{H_{ia}} \quad \begin{array}{l} \text{intensidad de campo magnético en la bobina P} \\ \text{intensidad de campo magnético en la bobina A} \end{array}$$

$$\text{Fase medida} = \Delta \phi = \phi_A - \phi_P$$

$\phi_A$  = ángulo de fase en la bobina A

$\phi_P$  = ángulo de fase en la bobina P

En algunas estaciones el campo inducido es muy intenso y el puente compensador sale de su rango de operación, si se reduce la separación de las bobinas receptoras y se realizan dos ó más mediciones entre las estaciones, se obtienen las relaciones correspondientes a estas estaciones, multiplicando las relaciones de intensidad de campo y la diferencia de fase será la suma de cada una de ellas.

#### 5.2.4.5 CORRECCIONES DE LA INFORMACION.

Las observaciones de campo deben normalizarse para eliminar, en lo posible, el campo magnético primario y resaltar el campo magnético secundario O inducido. El procedimiento se puede realizar de la siguiente forma:

- 1.- Se considera que el medio de propagación es el vacío.
- 2.- Se calcula el campo teórico debido al tipo de emisor empleado; se considera su forma geométrica y la distancia del emisor a cada una de las bobinas receptoras, en cada estación.
- 3.- Con el Valor teórico del campo magnético se puede calcular la relación de este en estaciones sucesivas.
- 4.- Se elabora una tabla de relaciones teóricas para cada línea y estaciones de medición.
- 5.- Los datos obtenidos en el levantamiento se normalizan con respecto a las relaciones teóricas.

Tal normalización produce valores pequeños, los que multiplicados por un valor, cien por ejemplo, ayuda para que sobresalgan en una gráfica.

Los valores de fase diferentes de cero indican la presencia de una anomalía del subsuelo, la cual en general se debe al efecto de los cuerpos conductores. En el espacio libre el campo magnético no se desfasa; las anomalías de fase son negativas y no necesitan corrección.



#### 5.2.4.6 EQUIPO DE MEDICION.

En el método TURAM se requiere de un sistema de emisión de ondas electromagnéticas variables con el tiempo, y un sistema de recepción ó detección de tales ondas, como a continuación se menciona.

a. La fuente de potencia es en general un motor-generator de gasolina, otro componente de emisión es el transmisor, que es un dispositivo electrónico el cual actúa como un generador de ondas senoidales a diferentes frecuencias. Se debe contar con alambre magneto de buena calidad y físicamente resistente a la abrasión para conformar la antena de emisión; si se emplea la modalidad de cable largo aterrizado, se requieren dos varillas metálicas para usarlas como electrodos.

b. El sistema de medida consta de dos bobinas de alta impedancia de entrada, llamadas bobinas primaria y secundaria interconectadas por un puente ó compensador, cuya función es la de determinar las intensidades del campo magnético en cada bobina y automáticamente calcula la relación de intensidades de campo, Hs/Hp. También proporciona la diferencia de fase entre los campos primarios y secundario inducidos en la bobina.

#### 5.2.4.7 INTERPRETACION.

Los parámetros que se interpretan cuantitativamente se mencionan a continuación:

**LOCALIZACION:** Los valores máximos de relación, conjuntamente con los desfases representados en un perfil, indican la ubicación del flujo de corriente anómalo, conocido también como eje de corriente.

**PROFUNDIDAD:** Una regla de "dedo" establece que la profundidad al eje de corriente es igual a la mitad del ancho de la anomalía. Existen diversos métodos (modelado físico ó matemático) para determinar este parámetro con mayor certeza.

**ECHADO:** Este parámetro puede determinarse cualitativamente empleando transmisores a cada lado del conductor.

**CONDUCTANCIA:** Este parámetro es capaz de proporcionar una idea de la calidad eléctrica del conductor a través del producto  $\sigma t$  ( $\sigma$  = conductividad,  $t$  = espesor). Para ello se emplean nomogramas.

El principio básico de la interpretación del método TURAM es suponer que la roca encajonante a un cuerpo conductor, posee una conductividad despreciable y el desfaseamiento es debido a la existencia de cuerpos conductores en el subsuelo. Orellana (1973) enuncia algunas reglas que pueden tomarse en cuenta para efectuar una interpretación cualitativa.

#### 5.2.4.8 MODALIDAD PROPUESTA EN EL EJEMPLO DE APLICACION.

Debido a lo costoso del método TURAM sólo se aplica en áreas donde se dispone de indicaciones importantes de la existencia de un cuerpo conductor. El transmisor debe ubicarse a una distancia tal que el objetivo o respuesta anómala no sea afectada por la zona no útil ó demasiado lejos ocasionando un campo débil, difícil de muestrear.

La fig. 5.2.4.8.a esquematiza la modalidad propuesta en el estudio realizado en la Catarina, este ejemplo es muy interesante pues el transmisor se coloca cruzando la posible orientación de la estructura. Esta propuesta modificada del TURAM clásico se le dio el nombre de equipotenciales, como se observa las bobinas de recepción se hallan situadas a la misma distancia a la fuente. En condiciones ideales no se obtendrá el máximo acoplamiento inductivo entre el transmisor y la estructura, como en el caso de un cuerpo tabular perfecto, vertical y perpendicular el transmisor, en este caso el acoplamiento sería nulo. En la naturaleza esto no ocurre, Duckworth y Bays (1984) establecen para esta situación la existencia de un punto de acoplamiento nulo, que da lugar a valores de relación y fase positivos y negativos según sea la bobina de referencia, fig. 5.2.4.8.b.

Este método minimiza la separación entre transmisor y estructura; las bobinas reciben el mismo campo primario por situarse en la misma línea de potencial magnético y la separación de bobinas puede aumentarse tanto como sea posible ya que elimina el efecto de gradiente debido al campo primario. Aspecto contrario al TURAM clásico, en el cual si las bobinas están muy separadas salen de su rango de operación, lo que dificulta su empleo para localizar cuerpos a profundidad.

Si las bobinas se hallan fuera de la anomalía y como no se presenta gradiente, la variación vale 1 y 0° para la diferencia de fase; fuera de estos valores se puede identificar la presencia de cualquier anomalía. Lo anterior implica que la información no se necesita corregir, caso contrario con el TURAM clásico en que la existencia de una anomalía no se puede reconocer si no se corrigen los datos eliminados los gradientes del campo primario. Sólo en el caso de que el terreno sea muy abrupto las mediciones se van afectadas tanto en TURAM clásico como en el modo modificado y se puede realizar la corrección adecuada (Cuevas, 1982).

### 5.3 EJEMPLOS DE APLICACION EN MEXICO.

#### 5.3.1 METODO MAGNETICO TERRESTRE EN EL DISTRITO MINERO DE REAL DE ANGELES, EDO. DE ZACATECAS.

##### 5.3.1.1 INTRODUCCION.

En el Distrito de Real de Angeles la galena, esfalerita y plata ocurren con minerales como la pirita, pirrotita y arsenopirita en fallas, vetas y fracturas estrechas, como granos

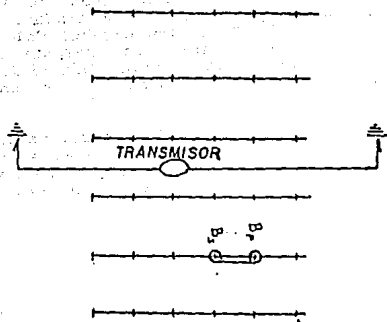


Fig. 5.2.4.8.a  
Modalidad propuesta.

Líneas y Estaciones  
de Medición

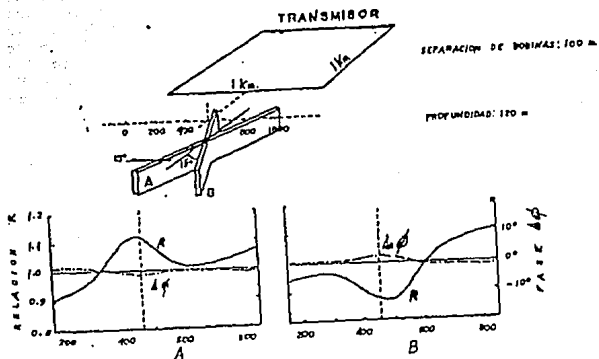


Fig. 5.2.4.8.b Ejemplo de acoplamiento inductivo.

diseminados y a lo largo de capas planas. El yacimiento se presenta como un cuerpo de forma cónica visto de planta y se encuentra cercano a la superficie; mide aproximadamente 500 X 400 m, y la profundidad conocida es de 300 m. La roca encajonante se encuentra moderadamente deformada, las capas se forman de intercalaciones que van de "greywacke" carbonatadas, areniscas y lutitas pertenecientes a la Formación Caracol del Cretácico Superior, y de las descargas mineras. Se presenta el método magnético terrestre de forma cualitativa para demostrar su eficiencia, pero la zona se ha estudiado con otros métodos convencionales.

Generalmente el yacimiento no es de naturaleza magnética, pero como se presenta con una ganga de minerales sulfurosos magnéticos es posible delimitar el cuerpo mineralizado y optimar los barrenos para la etapa de reconocimiento del depósito mineral.

#### 5.3.1.2 LOCALIZACION.

El Distrito de Real de Angeles se localiza sobre una región semiárida de la meseta central cercana al centro geográfico de la República Mexicana, al sureste del estado de Zacatecas, a medio camino entre las ciudades de Zacatecas y San Luis Potosí, fig. 5.3.1.2.a. Se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2300 m.

#### 5.3.1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO.

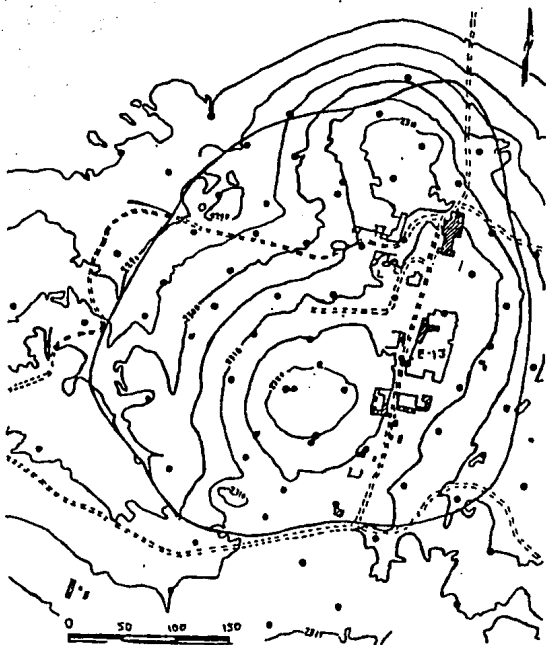
La exploración geofísica sobre el distrito minero de Real de Angeles fue con el propósito de definir los límites del depósito, investigar el potencial bajo la proximidad del sitio propuesto, en la zona de descarga de mina y la disposición de áreas de escoria, (Stoiser y Nieto, 1979). Dicho estudio fue emprendido en 1975 a cargo de la compañía Exploring, S.A. de C.V. a partir de mapas geológicos y con la ayuda de los resultados de las barrenaciones.

#### 5.3.1.4 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO.

La fig. 5.3.1.4.a muestra al depósito mineral cerca de la superficie del suelo con las medidas de 400 X 500 m, es de forma cónica asimétrica con pendiente hacia el Oeste. Se encuentra cubierto por desperdicios de mina con 15m de espesor; escombros de la Villa, capas de caliche alternadas sucesivamente por capas lechadas de 5 a 10 m de espesor y una zona de transición con mezclas de óxidos y sulfuros de 25 m. de espesor. La fig. 5.3.1.4.b muestra al cuerpo sulfuroso el cual se encuentra encajonado por una roca de grano fino de ambiente marino somero,



Fig. 5.3.1.2.a



metros

Fig. 5.3.1.4.a Mapa topográfico de la zona  
minera de Real de Angeles.

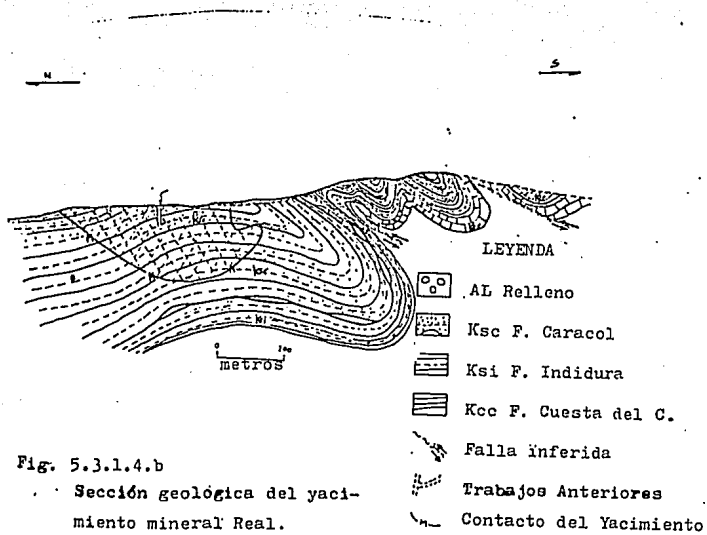


Fig. 5.3.1.4.b

Sección geológica del yacimiento mineral Real.

es una roca clástica de la Formación Caracol que data del Cretácico y consiste de capas delgadas, lenticulares con intercalaciones de arenisca, grauvaca, lutita, esquistos y argentita.

Es el tipo Flysch, característica estratigráfica de la capa encajonante. Se observa estratificación cruzada slumping. (fig. 5.3.1.4.b).

Se exponen en las colinas inmediatas dos formaciones antiguas; la Cuesta del Cura e Indidura, al sur del depósito.

#### 5.3.1.5 MINERALOGIA.

El yacimiento esta asociado a una ganga sulfurosa y a minerales no metálicos hipogénicos que ocurren como granos de tamaño pequeño a mediano, separados, discretos, diseminados dentro de la matriz arcillosa de la roca sedimentaria, como rellenos y agregados en juntas, fracturas y en capas planas, en vetas y estrechas fallas discontinuas. Los minerales del yacimiento son la galena, la variedad de esfalerita (marmatita) y freibergita.

Los minerales sulfurosos de ganga son la piritita, pirrotita de baja temperatura, arsenopiritita y marcasita los cuales se asocian a la mineralización de plomo-zinc-plata.

La opinión más evidente sobre el origen del yacimiento mineral se inclina por la acción hidrotermal.

#### 5.3.1.6 INVESTIGACION MAGNETICA TERRESTRE.

Se utilizó un magnetómetro portátil de campo vertical para determinar la asociación de la pirrotita con el yacimiento mineral ya que ofrece una magnífica respuesta magnética. Se obtuvo una favorable respuesta sobre una línea de prueba a través del depósito Real; de esa manera se investigaron 5 líneas separadas 100 m. Las lecturas se tomaron a intervalos de 20 m sobre cada línea. El resultado se presenta en el mapa de contornos de la fig. 5.3.1.6.a.

En dicha figura se aprecia una buena correlación de la anomalía magnética y el yacimiento mineral. La anomalía consiste de un alto de 800 gammas, flanqueado al norte por un bajo de 150 gammas y tendencia de Este a Noroeste contenido en el área mineral. Esta dirección conforma claramente la orientación y posición de las principales vetas de falla que cortan el cuerpo diseminado. La alta concentración de pirrotita contenida en dichas vetas es la causa de la anomalía.

La característica de la anomalía es el cambio del perfil a



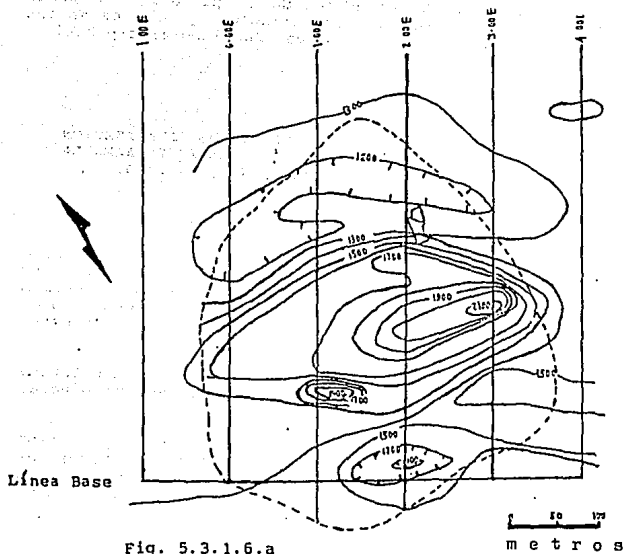


Fig. 5.3.1.6.a

Mapa de anomalía magnética de campo vertical.

lo largo de una dirección horizontal, la forma suave y ancha en el lado Oeste sugiere una fuente profunda, en el lado Este la forma de la anomalía tomó la forma de un pico positivo, y cerca a éste dos picos negativos; se encuentra por lo tanto la zona del yacimiento limitada por el alto magnético positivo.

Los datos magnéticos obtenidos en esta investigación muestran que la respuesta magnética de la pirrotita se puede utilizar para determinar la localización y la extensión aproximada del área del Yacimiento Real de plomo-zinc-plata.

### **5.3.2 ESTUDIO GEOFISICO CON LOS METODOS DE POLARIZACION INDUCIDA, POTENCIAL NATURAL Y TURAM EN EL AREA LA CATARINA, MUNICIPIO DE GUACHINANGO, JALISCO.**

#### **5.3.2.1 INTRODUCCION.**

El área la Catarina fue explotada desde la época de la Colonia; a principio de este siglo se cerró por incosteable. En 1977 el lugar fue reestudiado por el Consejo de Recursos Minerales con geología regional y posteriormente con geología de detalle en superficie e interior de mina, así como de obras directas como barrenación.

En la actualidad, el yacimiento mineral del área La Catarina se tiene perfectamente ubicado y se considera Reserva Mineral Nacional.

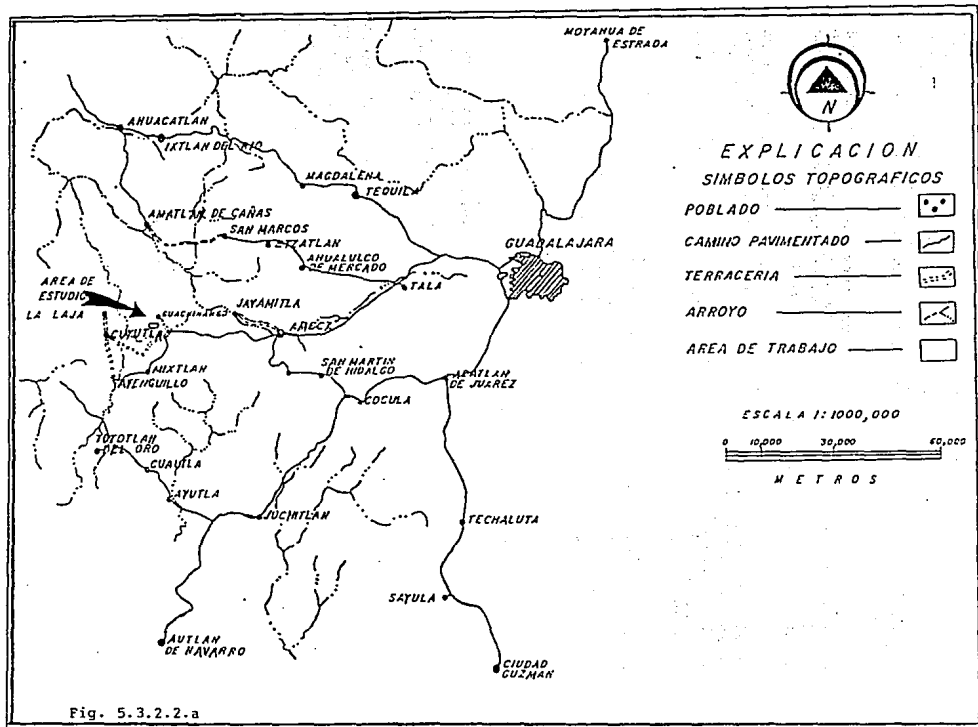
En septiembre de 1984, la Coordinación de Exploración Geofísica de la Zona Centro del Consejo de Recursos Minerales realizó un proyecto de exploración geofísica en esta área con los métodos de Polarización Inducida, Potencial Natural y TURAM entre otros.

#### **5.3.2.2 LOCALIZACION.**

El área de estudio llamada la Catarina se localiza a los 20° 33' de latitud Norte y 104° 22' de longitud Oeste. Se llega por la carretera federal Guadalajara-Ameca-Talpa de Allende, a 50 Km de la ciudad de Ameca se toma una desviación de terracería que se sigue durante 8 Km. un kilómetro antes de llegar a la población de Guachinango se ubica el área de la Catarina. Figura 5.3.2.2.a.

#### **5.3.2.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO GEOFISICO.**

Los estudios efectuados en dicha área fueron con carácter de investigación, el primer objetivo fue el de observar la



respuesta que la estructura mineralizada presenta a los distintos métodos, por medio de diversas técnicas y dispositivos de medición: la investigación proporciona el conocimiento adecuado de las respuestas geofísicas, en condiciones diversas ayuda al empleo más eficiente, resolutive y económico de los métodos en levantamientos futuros.

En el método TURAM se empleó una nueva técnica y se le llamó técnica de equipotenciales, debido a que las mediciones se realizaron sobre las líneas equipotenciales del campo electromagnético producido artificialmente.

La polarización inducida se empleó como método de apoyo para localizar zonas con mayor concentración de minerales metálicos, se investigaron las respuestas obtenidas al variar los parámetros de los dispositivos de medición como son: separación entre electrodos de potencial, separación entre electrodos de corriente, etc.

El levantamiento de potencial natural tuvo como objetivo establecer las anomalías de potencial natural y su correlación con las estructuras mineralizadas, y comparar el método con los demás empleados para considerar aspectos tales como rapidez de levantamiento, sencillez, economía y poder de resolución.

#### 5.3.2.4 GEOLOGIA DEL DEPOSITO MINERAL.

Predomina en la región roca andesita anfibolítica de edad Terciario volcánico, con propilitización en menor grado. Este tipo de roca se halla muy fracturada y los principales sistemas de fracturamiento tienen rumbos NW 60° SE y NE 45° SW, (C.R.M., 1979).

Litológicamente el área está integrada por rocas volcánicas pertenecientes al Terciario andesítico, ubicadas dentro de la provincia fisiográfica de la plataforma volcánica. Su composición varía de tobas feldespáticas y líticas, de composición andesítica ó traquítica, intercaladas con horizontes de derrames andesíticos que cubren las partes medias y bajas de la sierra el Comalito y los Valles. En las partes altas se observan tobas riódacíticas y riolíticas con horizontes de derrames intercalados.

La Veta La Catarina presenta un rumbo general NW 57° SE y buzamiento de entre 65° y 80° al NE, tiene un espesor muy variable y va de 6 a 50 m. Aflora a intervalos constantes a lo largo de 2.5 Km en su cercanía el Cerro El Rayo. En el extremo Suroeste se halla interceptada por la veta falla El Aguacero. A rumbo de veta se presenta una serie de fallas con rumbo NE-SW al N-S, que les han ocasionado desplazamientos verticales de poca magnitud, fig. 5.3.2.4.a.

El área está cubierta por tobas de composición andesítica y traquítica de grano fino a medio, intercaladas con horizontes



de tobas líticas y derrames de composición andesítica de textura cristalina fina a porfídica. Sobre estas tobas se observan derrames y tobas de composición latítica con espesores del orden de los 15 a los 28 m.

#### 5.3.2.5 MINERALOGIA.

El yacimiento está compuesto por estructuras tabulares dentro de las cuales presentan pequeñas vetillas fracturadas hasta de 20 cm mineralizadas con apariencia de clavos.

Se puede decir que la mineralización se asocia a brechas de falla, cementadas por sílice con óxido y sulfuros. Se distinguen dos periodos de mineralización; primero relleno de cavidades y fisuras de cuarzo blanco estéril y en el segundo periodo; el cuarzo de color amarillo claro y gris cristalino contiene sulfuros de plata-plomo y fierro especular.

El yacimiento se clasifica como de origen hidrotermal del tipo de relleno de fisuras en una brecha de colapso, cuyo cementante son el mineral de sílice con óxidos y sulfuros.

En La Catarina la mena está formada por galena, argentita, esfalerita, marmatita, calcopirita y calcosita. La ganga está constituida por cuarzo blanco, calcedónico y cristalino, pirita, pirolusita, especularita y óxidos de fierro. Las alteraciones más importantes al alto de la estructura son provocadas por los minerales clorita, sericita, epidota, pirolusita, goetita, hematita y sílice. Al bajo predominan la hematita y la clorita.

#### 5.3.2.6 INVESTIGACION GEOFISICA.

##### 5.3.2.6.1 POLARIZACION INDUCIDA.

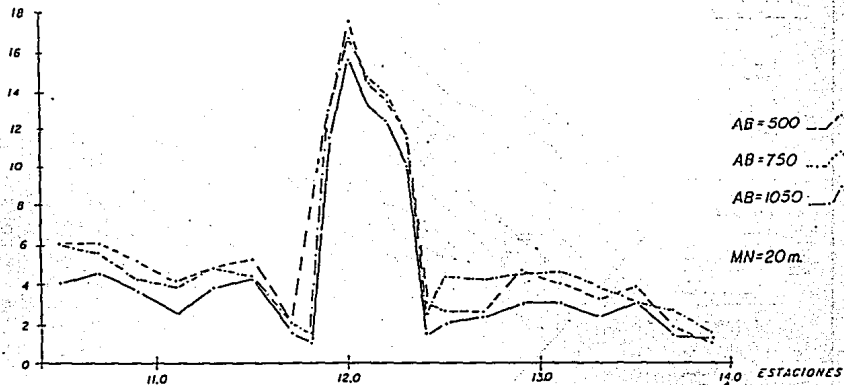
**TRABAJO EFECTUADO.** Con tránsito y cinta se trazaron 13 líneas de 350 m. Las líneas se estancaron cada 10 m y tienen un rumbo general de N 47° E. La ubicación y distribución puede observarse en la fig. 5.3.2.6.1.a. El cubrimiento lineal fue de 4.55 Km y el superficial de 0.131 Km<sup>2</sup>.

Con el método de polarización inducida, se efectuó un estudio paramétrico con los arreglos electródicos gradientes y bloques, la separación de electrodos de corriente fue AB=1050 m y entre los electrodos de potencial MN = 25 m.

**RESULTADOS OBTENIDOS.** La fig. 5.3.2.6.1.b muestra el resultado de ensayar tres separaciones de electrodos de corriente, con AB = 1050 m se obtiene una curva menos intensa y con menos ruido; la separación entre electrodos de potencial fue



CARGABILIDAD EN  
MILISEGUNDOS

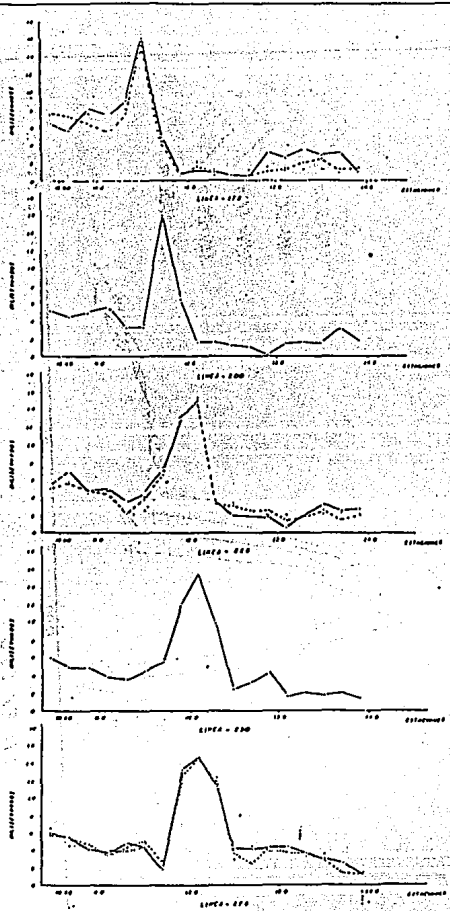


LINEA 275

CURVAS DE P.I. OBTENIDAS VARIANDO LA SEPARACION  
DE ELECTRODOS DE CORRIENTE (A,B) CON MN CONSTANTE

Fig. 5.3.2.6.1.b





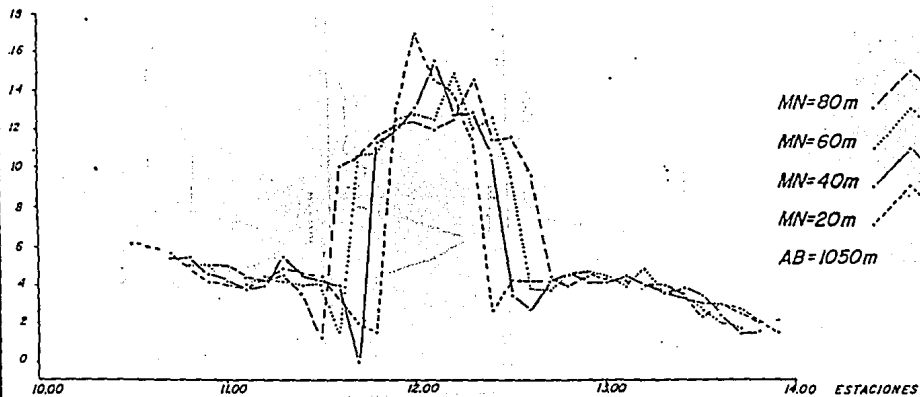
EXPLICACION

- $L = 1000 \text{ m.}$       CURVAS DE P.I. OBTENIDAS CON AFB EN L-275
- $L = 10 \text{ m.}$       CURVAS DE P.I. OBTENIDAS CON AFB EN L-325
- ESTACIONES CADA 20 m.      CURVAS DE P.I. OBTENIDAS CON AFB EN L-175
- SEPARACION DE LINEAS CADA 25 m.

CURVAS DE P.I. OBTENIDAS CAMBIANDO DE POSICION (LINEA J) LOS ELECTRODOS DE CORRIENTE

Fig 5.3.2.6.1.c

CARGABILIDAD EN  
MILISEGUNDOS



LINEA 275

CURVAS DE P. I. OBTENIDAS VARIANDO LA SEPARACION DE ELECTRODOS DE  
POTENCIAL (M,N) CON AB CONSTANTE.

Fig. 5.3.2.6.1.a



constante e igual a 20 m. Sin embargo, las tres aberturas indican perfectamente la anomalía de polarización inducida. La abertura idónea ha sido de 1050 m, además cumple con lo antes mencionado de que el campo eléctrico es prácticamente constante en el tercio central del segmento AB y corresponde a una longitud de 350 m de las líneas.

La fig. 5.3.2.6.1.c muestra los resultados con el arreglo de bloques; se hicieron hasta 8 líneas paralelas a la línea donde quedaron los electrodos de corriente A y B.

La morfología de las curvas es muy semejante y el error entre intensidades de polarización inducida es aceptable. Se decidió emplear dicho arreglo por ser más rápido y económico en su operación.

La fig. 5.3.2.6.1.d representa las curvas de polarización inducida obtenidas variando los electrodos de potencial, con MN=20, 40, 60 y 80 m con un intervalo de muestreo de 10 m y AB=1050. Resulta muy interesante observar como al aumentar la distancia MN, la intensidad de respuesta disminuye al ser la curva más amplia, sucederá lo contrario si al aumentar el volumen de roca investigada, MN más grande, aumentará el contenido mineral polarizable, con esto se eligió a MN=20 m como la mejor abertura.

De la fig. 5.3.2.6.1.c se aprecia que la pendiente más fuerte de las curvas anómalas indica el rumbo del echado de la veta, en general está entre los 65° y 80° hacia el NE.

Las fig. 5.3.2.6.1.a y .e, presentan en forma gráfica los resultados de cargabilidad y configuración de isocargabilidades para los parámetros AB=1050 m y MN=20 m, elegidos y tomando lecturas en nueve líneas para una posición de electrodos de corriente. El valor de fondo asignado se eligió de 5 m, a partir del cual las curvas se consideran anómalas. La estructura mineral queda definida por los máximos de cargabilidad.

Los desplazamientos de las curvas indican el echado y que posiblemente la concentración de minerales no es superficial. También indican desplazamientos de la estructura por fallas como se observa en la fig. 5.3.2.6.1.a. La amplitud de las anomalías de polarización inducida crece desde la línea 225 hacia la línea 500, indica una mayor diseminación de sulfuros polarizable alrededor de la estructura, geológicamente es muy importante ya que los clavos mineralizados se hallan rodeados de una aureola de diseminación.

#### 5.3.2.6.2 POTENCIAL NATURAL.

TRABAJOS EFECTUADOS. En 8 líneas de rumbo N47° E, con longitud de 350 m cada una y separación de 50 m entre ellas, se realizaron las mediciones de Potencial Natural. Las líneas 350, donde la base se situó en la estación 13.80 (en la estación 14.00

existía una propiedad). Se tomaron lecturas de enlace entre las bases de las líneas, para definir sus potenciales con respecto a un punto al que se asignó un potencial cero. Las lecturas a lo largo de las líneas se efectuaron con una separación de 20 m entre electrodos y las lecturas de enlace entre líneas con separación de 25 m.

**RESULTADOS OBTENIDOS.** La fig. 5.3.2.6.2.a muestra los resultados gradientes. La mejor definición de la estructura La Catarina se obtuvo con el método de potenciales, posiblemente en el método gradientes la abertura MN = 20 m no fue la adecuada y ocasionó respuestas muy ruidosas difíciles de correlacionar con el yacimiento.

Los perfiles correspondientes a la figura de potenciales producen mínimos negativos que demuestran lo efectivo del método para detectar la anomalía, con excepción de la línea 450, los potenciales con mínimos negativos del orden de decenas de mV se presentan sobre la traza de la veta e indican las zonas con mayor cantidad de sulfuros. La intensidad de las respuestas se pueden deber a pequeños cuerpos de mineralización diseminado y/o mineralización con abundante contenido de esfalerita y galena.

Destacan en las líneas 150 y 200 los potenciales negativos más intensos, entre -70 mV y -100 mV; como las curvas son muy agudas indican dimensiones reducidas del cuerpo mineral que se encuentra encajonante por roca abundantemente silicificada, los fuertes contrastes de resistividad entre el conductor y la roca encajonante produce una curva de respuesta de Potencial Natural con pendientes muy fuertes, hecho básico de tomarse en el criterio de interpretación para evitar errores considerables en la estimación de la profundidad al utilizar métodos gráficos.

En las líneas 250 y 275 los potenciales negativos (hasta -25 mV) son menores pero más anomalías las curvas anómalas y los flancos más suaves. Situación que sugiere mayor profundidad de la mineralización de interés y que el valor de la resistividad del medio encajonante disminuye.

Las líneas 300 y 350 no distinguen claramente la anomalía, sin embargo, existen sobre la estructura potenciales negativos. Esto es debido a las condiciones topográficas difíciles y no se presenta alguna capa de suelo sobre la veta, la situación antes mencionada es desfavorable para las medidas de Potencial Natural. Las pendientes suaves y la poca intensidad sugiere que el cuerpo se halla a mayor profundidad y que es menor el efecto resistivo de la roca encajonante (menor silicificación).

La línea 400 presenta una situación similar al caso de las líneas 150 y 200, la angulosidad indica un aumento de silicificación en comparación con las dimensiones del cuerpo mineralizado.

La línea 450 no presenta el fenómeno de potencial natural y quizá se debe a que la veta se desplaza por causa de una falla.



En la línea 500 aparece de nuevo la anomalía pero se aprecia de nuevo desplazada posiblemente a la falla presente en la línea 450. El desplazamiento también se alcanza a notar en la línea 400.

Resultados cualitativos se pueden consultar en Gutiérrez (1987).

### 5.3.2.6.3 ELECTROMAGNETICO TURAM.

**TRABAJOS EFECTUADOS.** Con tránsito y cinta se trazaron trece líneas de 350 m de extensión cada una, 10 de estas líneas se hallan espaciadas a 50 m. Las líneas se estacaron a cada 10 m y tienen un rumbo general de N 47° E. La ubicación y distribución de líneas puede observarse en la fig. 5.3.2.6.3.a.

El cubrimiento lineal fue de 4.55 km y el superficial de 0.131 km<sup>2</sup>. Los resultados más significativos se obtuvieron a una frecuencia de 945 Hz, con separación de las bobinas de 40 m.

Se presentan los levantamientos del método TURAM clásico y modificado; en su forma convencional de aplicación se utilizó cable largo aterrizado en las líneas 14.00 y 10.50, con una longitud de 1200 m. Con el TURAM empleando equipotenciales se aterrizó un cable largo en la línea 500, con la misma longitud y las líneas se leyeron desplazando las bobinas en forma paralela al transmisor.

**RESULTADOS OBTENIDOS.** La fig. 5.3.2.6.3.a muestra los resultados obtenidos con el procedimiento convencional; se consideran como puntos anómalos los máximos de fase y el valor del parámetro relación se empleo para clasificar las respuestas como se menciona a continuación: primer orden relación mayor a 60, segundo orden de 40 a 60 y tercer orden menores a 40.

En la fig. anterior es posible apreciar flujo de corriente anómalo desplazado respecto a la traza obtenida con el método de equipotenciales de la fig. 5.3.2.6.3.b, consecuentemente en la Veta La Catarina. Tal desplazamiento se puede adjudicar a la influencia del gradiente del campo primario así como al efecto de la capa de suelo, si se comportase como conductor. De las fig. 5.3.2.6.3.a y .b una respuesta semejante localizada entre las estaciones 10.90 a 11.40 de las líneas 125 a 250, corresponde a anomalías de segundo orden, las cuales no se pueden asociar a accidentes geológicos visibles superficiales.

Entre las estaciones 11.80 a 12.00 y en la línea 325 se encuentra la respuesta más interesante de tercer orden asociada a La Catarina y coincide parcialmente con el método de equipotenciales.







Se observa la existencia de otras trazas anómalas, las que se sitúa de la línea 125 a 350 entre las estaciones 12.70 y 13.00 las que se clasifican como respuestas de primer y tercer orden.

El método de equipotenciales muestra diversos tipos de respuesta, los máximos de fase se consideran como flujo de corriente anómalo, que da lugar a tres tipos de respuesta: primer orden, relación mayor a -10; segundo orden, relaciones comprendidas entre  $\pm 5$ . La fig. 5.3.2.6.3.c muestra como el método puede generar relaciones de intensidades de campo magnético positivas y negativas, igual para las diferencias de fase; las variaciones del rumbo y echado del cuerpo conductor provoca el cambio de polaridad.

La fig. 5.3.2.6.3.b muestra anomalías de primer orden asociadas a la Veta La Catarina, la traza anómala se sitúa de la línea 125 a 400 y entre las estaciones 11.00 a 12.20, se considera que la provoca un alto contenido de sulfuros en el cuerpo mineralizado. Las líneas 325, 350 y 400 muestran respuestas más interesantes entre las estaciones 11.60 y 12.00 como puede observarse en la figura correspondiente al método equipotenciales y la fig. 5.3.2.6.3.d de configuración isofásica del método equipotenciales, esta última señala con claridad la zona de alteración mineral más atractiva, que se ubica entre las líneas 275 a 400.

Se observa la presencia de curvas de relación y fase con un ancho considerable, y anomalías de segundo orden sobre las líneas 125, 150, 175, 200 y 225, entre las estaciones 12.80 y 13.50, al norte de la estructura las que no se pueden asociar directamente a la estructura por estar la zona cubierta de suelo arcilloso conductor.

De menor importancia en intensidad y longitud se presenta una traza en las líneas 300 y 350 en la estación 13.00. La asociación es provocada posiblemente por alteraciones hidrotermales presentes como la oxidación silicificación y cloritización principalmente.

#### 5.4 CONCLUSIONES.

Los métodos geofísicos tratados son empleados en la explotación de minerales de plomo-zinc, ya que en general se presentan las condiciones adecuadas para detectar estos yacimientos, sin dejar de tomar en cuenta las limitaciones que poseen estas técnicas ante el problema geológico a esclarecer y que la combinación de estas es determinante para localizar zonas de interés geofísico-geológicas.

#### METODO MAGNETICO TERRESTRE.

Es un método que va ganando popularidad en el campo geológico debido a la disponibilidad y fácil operación de los magnetómetros.

METODO EQUIPOTENCIALES

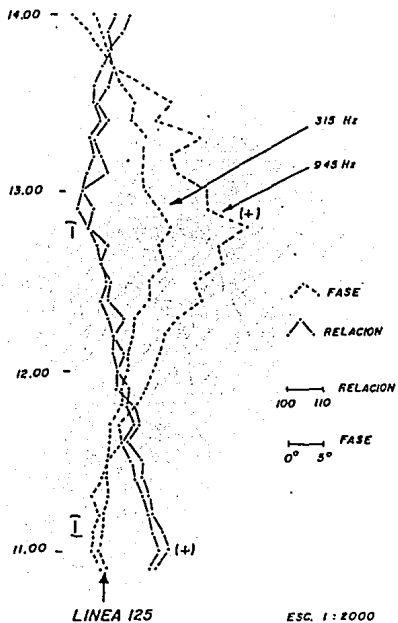


Fig. 5.3.2.6.3.c

RELACIONES Y FASES NORMALES E INVERSAS. DEMUESTRAN LA PRESENCIA DE ALGUN CUERPO CONDUCTOR.



En trabajos mineros las anomalías producidas son muy intensas y determinantes en forma cualitativa, sin ser necesaria la interpretación por modelado avanzado y grandes correcciones del terreno en la mayoría de los casos.

El ejemplo del levantamiento realizado en el distrito minero de Real de Angeles es claro y la anomalía de campo magnético vertical demuestra que con la presencia de minerales accesorios es posible determinar indirectamente los límites del yacimiento de plata-plomo-zinc.

El éxito de esta investigación se debe a la planeación coordinada con datos de sondeos mecánicos y mapas geológicos, el resultado delimita claramente al cuerpo mineral Real, sin embargo, no se descubrieron yacimientos adicionales en este ejemplo de estudio.

#### METODO DE POTENCIAL ESPONTANEO.

Es un método que se caracteriza por ser económico y por requerir de equipo sencillo y rápido de operar.

El ejemplo de La Catarina se ubica dentro de un área con condiciones geológicas adecuadas y la respuesta de potencial natural corresponde al cuerpo conductor de importancia económica.

El método de potenciales resultó ser más resolutivo ya que la morfología de las curvas coincide con la Veta La Catarina y se considera que el efecto es provocado por la mineralización existente.

El método de gradientes no muestra tendencia alguna y por lo tanto no se puede correlacionar a la veta, se considera este comportamiento a una mala elección de la separación entre los electrodos de potencial y con esto provocó que interfiriera mucho ruido.

El perfil presentado por el método de potenciales muestra la efectividad de la técnica, ya que los potenciales negativos reflejan la forma irregular de la mineralización, la cual se supone de pequeñas dimensiones y con alto contenido de esfalerita y galena, por ser estos sulfuros que producen anomalías de Potencial Natural en condiciones favorables.

#### POLARIZACION INDUCIDA.

El arreglo gradiente dio resultados satisfactorios ya que se relacionan a la estructura, la separación de los electrodos de potencial influye más que la separación de los electrodos de corriente, para detectar a un cuerpo polarizable.

Para interpretaciones cuantitativas se requiere de métodos de detalle, con lo cual se hace más costoso, una gran ventaja es que se realiza simultáneamente investigación con el método de resistividades sin aumentar los gastos de operación.

## TURAM.

El efecto de acoplamiento electromagnético enmascaró la respuesta esperada en el TURAM convencional sobre la Veta La Catarina.

En TURAM equipotenciales la respuesta anómala del subsuelo indica la presencia de un cuerpo electricamente conductor y coincide perfectamente con la veta y se supone que la fuente se halla a profundidad somera.

La modalidad propuesta, elimina el efecto del gradiente del campo magnético primario y demuestra ser susceptible al campo secundario inducido, las relaciones y fases son menores que las obtenidas con el TURAM clásico. El método de equipotenciales es muy rápido, no necesita correcciones y puede emplearse en trabajos de reconocimiento.

## 5.5 BIBLIOGRAFIA.

- Bullard, E. 1949. Terrestrial Magnetism, Phys. Today. Vol. 2, núm. 9.
- C.R.M. Informe geológico de avance de los trabajos realizados en el área mina La Catarina y en el Proyecto Exploración Reserva Nacional de Guachinango, Jal.
- Del Valle. T.E., 1987. Apuntes de introducción a los métodos geofísicos de explotación. UNAM.
- Goodacre, A. K., 1989. Interpretación de anomalías gravimétricas y magnéticas para no especialistas. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Pub. No. 438.
- Gutiérrez, L. D., 1987. Estudio geoelectrico en el Area La Catarina, Municipio de Guachinango, Jal. Tesis profesional. UNAM.
- Nettleton, L. L., 1942. Gravity and magnetic calculations, Geophysics, Vol. 7.
- Orellana, S. E., 1972. Prospección geoelectrica en corriente continua. Ed. Paraninfo. Madrid, España.
- Orellana, S. E., 1973. Prospección geoelectrica para campos variables. Ed. Paraninfo. Madrid, España.
- Satyonarayana, Murty. B. V. and Hancharan, P., 1985. Nomogram For The complete interpretation of spontaneous potential profiles over sheet-like and cylindrical two-dimensional sources. Geophysics. Vol. 50, núm. 7.
- Stoiser, L. R. y Nieto, J. B., . Exploration of the Real de Angeles Silver-Lead-Zinc Sulphide Deposit, Zacatecas, México. Geophysics and geochemistry in the Search of Metallics Ores. Geological Survey of Canadá. Report 31.

## **CAPITULO 6. Explotación y beneficio**

### **6.1 Explotación**

#### **6.1.1 Minado a cielo abierto**

#### **6.1.2 Minado subterráneo**

- 6.1.2.1 Tumbe sobre carga
- 6.1.2.2 Hundimiento por subniveles
- 6.1.2.3 Cuartos y pilares
- 6.1.2.4 Rebajes de piso
- 6.1.2.5 Corte y relleno hidráulico
- 6.1.2.6 Corte y relleno con tepetate
- 6.1.2.7 Lixiviación in situ

### **6.2 Beneficio**

- 6.2.1 Trituración
- 6.2.2 Molienda
- 6.2.3 Flotación
- 6.2.4 Metalúrgia del plomo
- 6.2.5 Metalúrgia del zinc

### **6.3 Bibliografía**



## 6. EXPLOTACION Y BENEFICIO

### 6.1 EXPLOTACION

La explotación es el acto de extraer los minerales de los diversos tipos de yacimientos y llevarlos a la superficie de la forma más económica y con la mayor seguridad posible.

Es muy importante la elección del método de explotación para obtener los mejores resultados en el tumbé y se toman en cuenta ciertos factores como son:

1).- Las características físicas del mineral y la roca encajonante.

a). Resistencia del mineral y roca encajonante.- Adherencia entre las rocas, fracturas y fallas.

b). Profundidad abajo de la superficie y característica de sobrecarga.- El peso de las rocas de la parte superior afecta la estabilidad del terreno.

c). Dirección de la presión.- Se proporcionan soportes adecuados donde se ejerza presión a las paredes.

2).- Naturaleza del mineral.

Es muy importante para seleccionar el método de extracción del mineral ya que influye principalmente como sostén del mineral mismo.

3).- Factores económicos y sociales.

a). Máxima seguridad

b). Máxima eficiencia

c). Máxima economía

Para los yacimientos de plomo-zinc se ha hecho un resumen del tipo de explotación que se puede llevar a cabo.

## EXPLOTACION DE YACIMIENTOS DE PLOMO-ZINC

A). MINADO A CIELO ABIERTO (Grandes volúmenes, generalmente de baja ley en o cerca de la superficie)

Tipos de yacimientos: stockworks, disseminaciones, skarn.

### B). MINADO SUBTERRANEO

1.- Tumba sobre carga (Vetas con gran inclinación o chimeneas)

2.- Hundimiento de bloques (Grandes masas mineralizadas, stockworks, chimeneas, skarn)

3.- Hundimiento por subniveles (grandes masas mineralizadas, stockworks, chimeneas, skarn)

4.- Cuartos y pilares (Cuerpos tabulares prácticamente horizontales)

5.- Rebajes de piso (Vetas de gran inclinación o chimeneas)

6.- Corte y relleno hidráulico - Son una mezcla de jales y cemento- (vetas)

7.- Corte y relleno - con tepetate- (Vetas, chimeneas y otros cuerpos de geometría irregular)

-----  
8.- Lixiviación "in situ" (Grandes volúmenes de baja ley)

Parga P., José de J., 1993.

## 6.1.1 MINADO A CIELO ABIERTO

Este método de explotación es utilizado en la Mina Real de Angeles, la operación de minado se hace en 5 etapas, que son las siguientes:

1. Planeación
2. Barrenación de producción
3. Voladura
4. Cargado
5. Acarreo

1. Planeación. El minado se hace con programas anuales donde se consideran el diseño del tajo y sus características, este diseño es revisado por medio de computadoras donde se toman en cuenta los siguientes parámetros: Modelo geológico del cuerpo mineral, precio de los metales, costo de minado y tratamiento, costos administrativos, tratamientos de concentrados y cargas de acarreo y transporte.

El diseño del tajo es un cono de  $45^\circ$  de pendiente en los taludes, 1,200 m de diámetro en su parte superior y 400 m de profundidad, con bancos de 12 m de altura y rampas de acarreo con un 10% de pendiente.

2. Barrenación de producción. La barrenación de producción es ejecutada por medio de dos perforaciones Bucyrus-Erie 45R, el diámetro es de 9 7/8" y la longitud de los barrenos es de 14.2 m, incluye 2.2 m de sub-barrenación.

La plantilla de barrenación que se emplea en sulfuros es de 6 x 7 m. En promedio se obtienen 1.360 ton quebradas por cada barreno en sulfuros. El factor de productividad de las perforadoras 45R es 15 m lineales/hora.

3. Voladura. La operación de cargado de barrenos es semiautomático, el mezclado de nitrato de amonio se hace directamente en la boca del barreno con el uso de un camión mezclador de 9 ton de capacidad. En general, los explosivos empleados son: Carga de fondo 5% Tovex, Columna de carga 95% Anfo. El factor de carga en sulfuros es 300 g/ton.

Utilizando la plantilla de 6 x 7 m, se perforan unos 74 barrenos los que producen 100,000 ton de material frangmentado, obteniéndose el mejor material cuando los disparos son en líneas con retardos en el fondo del barreno y por barreno, y retardos en superficie línea por línea.

4. Cargado. Para esta actividad se utilizan palas eléctricas, 2 Bucyrus-Erie 195 B de 13 yardas cúbicas y 1 PH 2100 de 17 yardas cúbicas, además de utilizarse como auxiliares 2 cargadores frontales: Caterpillar 992 C de 10.5 yardas cúbicas, su promedio de productividad es de  $\pm$  1,500 ton métricas por yarda cúbica al día.

5. Acarreo. Se utiliza una flotilla de 12 camiones Terex de 85 ton, con una productividad de 330 ton/hora por cada unidad y 3 camiones Caterpillar de 140 ton, de productividad 550 ton/hora por unidad.

6. Equipo Auxiliar. La construcción y mantenimiento de caminos se hace con 3 Buldozer Komatsu D155A1, 2 tractores con neumático CAT - 824 C, 2 motoconformador Caterpillar 16 - G y 2 pipas para agua Terex TX 24B035 de 10,000 galones.

#### 6.1.2 MINADO SUBTERRANEO

##### 6.1.2.1 TUMBE SOBRE CARGA

Para aplicar este sistema de explotación se hace en cuerpos que reúnan las siguientes condiciones:

- Buena estabilidad de los respaldos (que no se desplomen sobre todo al alto cuando se vacía el rebaje)
- Cierta continuidad en los valores a lo largo del bloque a minar.
- Inclinación superior a 70° que permita la extracción del mineral.

En la preparación de rebajes se utilizan dos métodos:

1) Cuando el bloque a explotar es una veta, se cuelan uno a dos contrapozos -Obras ascendentes que tienden a comunicar un lugar inferior con uno superior o a explotar una parte superior desconocida. Los más comunes se desarrollan de un nivel a otro, con el fin de explorar o ventilar. Sirven como guía, camino, cuña y ventilación del futuro rebaje, se hacen sobre veta de abajo hacia arriba hasta 3 m antes del nivel superior desviándose hacia el alto para comunicar ese lado en el cañón, después de ademar.

En estos contrapozos se instalan tolvas de madera para la extracción del mineral por medio de locomotoras y carros sobre las vías. La fragmentación de la roca para ser más eficiente esta operación se hace a tamaños de 50% - 8" y 50% - 12".

2) "Para el caso de mantos y chimeneas. Partiendo de una rampa previamente colada al bajo de los cuerpos de mineral, se abre un

sill en el nivel inferior y otro en el nivel superior, comunicando ambos con un contrapozo colado en el contacto del bajo que sirve para ventilación y suministro de servicios al rebaje; el rezagado se realiza con equipo diesel vaciando en chorreaderos ubicados estratégicamente". (García M., et. al. 1986).

Este método es utilizado en Zacualpan, Edo. de Méx.

Para sacar el mineral se hace con una contrafrente a 5.0 m de la estructura y cruceros de extracción con una separación de 8.5 m entre los centros, y en los extremos de cada block se cuelan contrapozos.

Para el tumba se emplean máquinas de pierna BBC 24W de Atlas Copco.; el rezagado de obras y la extracción se hace con equipo L.H.D. de 1 yarda cúbica en los niveles 90 y 140. En el nivel 195 se cuenta con equipo L.H.D. de 1 y 2 yardas cúbicas.

El acarreo interior del material se hace con locomotoras de batería tipo Mancha de 1.5 ton y tipo Titan, ambas arrastran conchas basculantes de 35 ft<sup>3</sup> de capacidad. El mineral se canaliza a través de los chorreaderos y después se acarrea hasta la tolva general de manto del Tiro Central.

#### 6.1.2.2 HUNDIMIENTO POR SUBNIVELES

Es el método más indicado para vetas macizas con respaldos firmes e inclinaciones mayores de 50°, la explotación se hace barrenando el piso y cabeza en todos los subniveles en forma escalonada; la extracción es por gravedad y se recupera entre el 80% y el 90% del mineral.

Este sistema permite operar con alta mecanización, baja dilución y consecuentemente a muy bajo costo a pesar de la dureza de la roca.

Las ventajas de este método son:

1. Se barrena sobre piso seguro
2. Buena ventilación
3. Mínimo consumo de madera
4. Poca mano de obra
5. El tumba se hace en un corto período de tiempo pues se tienen diferentes lugares de ataque.
6. Elimina dinero inactivo por mineral quebrado dentro del rebaje.

Las desventajas son:

1. Alto costo de preparación
2. Relativamente inseguro
3. Baja recuperación

Este método se lleva a cabo a partir de una fase exploratoria donde se determinaron los procesos de explotación, como las dimensiones del block a minar, la altura de los subniveles, las obras de acceso, ventilación, extracción, plantillas de barrenación y el equipo a utilizar se emplea en yacimientos como los de Zimapán, Hgo.; La Negra, Qro.; Cuale, Jal., con pequeñas variaciones en cada una de ellas debido a las características propias del yacimiento y diferenciándose en las marcas del equipo que se utiliza.

a) La preparación se inicia con el cuele de una rampa al bajo del cuerpo mineral, de acceso ascendente con pendiente de 12 $\frac{1}{2}$  promedio, contrapozos de ventilación y un contrapozo "Robbins" a la superficie, se cuelean también cruceros de extracción en el nivel principal y los subniveles de "conos". En los cueles de preparación y desbordes de subniveles se usan perforadoras neumáticas que se diferencian por las marcas y diámetros de barrenos en cada una de las minas.

b) "El tumbé se inicia con la formación de "conos" de captación procediendo a minar el siguiente banco a partir del contrapozo "cuña" ampliando cada vez más en retirada hacia el acceso" hasta terminar en la entrada. Se continúa con el banco superior de la misma manera llegando a formar un hueco de dimensiones considerables.

La plantilla de barrenación es de 1.2 m x 1.2 m para Zimapán, Hgo.; 1.35 m X 1.6 m para La Negra, Qro.

c) Rezagado y acarreo.

En Zimapán, Hgo., para la actividad de extracción se utilizan cargadores transportadores de 5 yd<sup>3</sup> de capacidad y un camión de 13 yd<sup>3</sup>, con este equipo el mineral se lleva del rebaje a la trituración donde se tiene una quebradora de quijada de 25" x 40" que reduce el mineral a 6" para que sea mantedado por el Tiro Zimapán hasta el nivel -299 con un malacate Wellman Seaver Morgan con tambores lisos de 1.45 x 1.2 m, después es llevado por tren a las tolvas de gruesos de la planta de beneficio.

En La Negra, Qro., los equipos son 8 cargadores frontales de bajo perfil LHD o scoop-tramps, el mineral es llevado a los chorreaderos donde se inicia su trituración a -4", con una quebradora de quijadas de 24" x 36". El promedio del tumbé es de 25 ton por hombre/turno mina.

### 6.1.2.3 CUARTOS Y PILARES

A partir de la fase exploratoria en el Rosario, Sin. se emplea el método de Cuartos y Pilares con Rebajes Abiertos, esta decisión de llevar a cabo este sistema de explotación se tomó a partir de que:

- a).- El cuerpo mineralizado tiene echado menor a  $38^{\circ}$ .
- b).- El respaldo del alto es estable y permite tener espacios abiertos sin relleno en condiciones seguras.
- c).- Existe cada vez mayor avance en las técnicas de reforzamiento de las rocas.
- d).- Es un sistema altamente productivo y mecanizado.

El tumba se hace en los extremos de forma frentada con una altura máxima de 3.0 m y longitud de 2.4 m. Se avanza de norte a sur y viceversa barrenando con máquina perforadora de pierna. Al ir ascendiendo los cortes, se desplantan los pilares para conservar la estabilidad del terreno.

La distribución de pilares es de 4.0 m con claros de 10 m entre pilares, de esta forma se recupera el 85% del mineral in situ en la primera fase utilizando un equipo diesel scoop-tramps de 5 y 2 yd<sup>3</sup> y el restante durante la recuperación de pilares que es la segunda fase.

El acceso a los niveles se hace por medio de una rampa de pendiente menor de 15% y el transporte se hace por medio de un tren con locomotora Goodman de batería de 8 ton y carros Gramby de 100 ft<sup>3</sup>, el mineral es llevado de la tolva a la quebradora y de ahí al molino por medio de una banda transportadora.

En Cuale, Jal., este método se restringió a depósitos tabulares, con techo consistente y echado hasta de  $20^{\circ}$  dejando pilares a intervalos para soportar el techo, con una distribución sistemática.

El desarrollo y preparación está constituido por rampas y frentes de acceso, cruceros y contrapozos para servicio y ventilación. La explotación se efectúa dentro del cuerpo a rumbo de echado, barrenando de frente y desbordando lateralmente y de cabeza para formar un salón de 8.0 m se cuelan cruceros laterales para ir delimitando los pilares que tienen una sección de 5.0 x 5.0 m.

Al ir explotando y delimitando pilares se busca tener varios lugares de ataque para lograr un ritmo alto de extracción del mineral, el tumba se inicia del alto del manto al bajo, teniendo una recuperación del 70% y dilución del 10%.

#### 6.1.2.4 REBAJES DE PISO

Este método se aplica a la explotación de vetas angostas con continuidad en sus valores de echado  $>45^\circ$ . Las ventajas de este sistema es que es muy económico, se tiene que hacer poca preparación para el tumbado, existe un fácil control para seleccionar el mineral.

"Una vez desarrollada y explotada la veta entre dos niveles se procede a preparar el bloque con un contrapozo sobre la veta, del nivel inferior al superior y a partir de éste se da una preparación debajo del nivel superior, dejando solamente un pilar de protección para desde ahí principiar el tumbado hacia abajo. Para recibir el mineral tumbado se coloca una tolva en el contrapozo original y se requerirá preparar varios contrapozos cortos con tolvas en el nivel inferior, para ir recibiendo el mineral a medida que se va avanzando el tumbado sobre el bloque. El tumbado se lleva a cabo bajando cortes desde la preparación hasta las tolvas del nivel inferior por medio de bancos o plantillas cuyo número de éstas varía de acuerdo con el ancho y el echado de la veta" (Méndez Ch., 1973).

#### 6.1.2.5 CORTE Y RELLENO HIDRAULICO

En Fresnillo, Zac., se emplea el sistema de corte y relleno hidráulico, ya que este se adapta a las condiciones del yacimiento como son:

- Inconsistencia de los respaldos.
- Desprendimientos y ramaleos tanto en el alto como en el bajo de la estructura principal.

En este sistema de minado existe un gran control y susceptibilidad a una alta mecanización, permite tener disponibilidad inmediata de mineral tumbado, seguridad en el minado, pisos firmes y parejos para barrenar y rezagar y se tienen productividades de 20 ton/hombre-turno.

Al preparar los bloques se desarrollan las siguientes obras:

- Contrafrente. Se hace en el bajo de la veta para iniciar la explotación a partir del cielo de las frentes.
- Rampa. Se hace una para cada bloque partiendo de la contrafrente, con pendiente de 10% y sirve de acceso al corte del rebaje.
- Contrapozos Robbins. Se cuelan bajo la veta, separadas 120.0 m entre sí, sirven como chorreadores del mineral y tienen instalada una tolva tipo Grandview con pistón neumático.



En los pisos de las frentes hay lozas de jal con cemento armado que sirven de soporte del relleno. La barrenación se hace con perforadoras neumáticas de pierna (Jack Leg), de ángulo de inclinación de 80°, con acero integral hexagonal de 7/8" de diámetro y separación de 0.60 m entre barrenos y de borde.

Al iniciarse la explosión se hace de una manera cíclica para que la extracción sea permanente y se cierra el círculo con el relleno hidráulico, la extracción se hace con equipo cargador transportador de 1 y 2 yd<sup>3</sup> de capacidad y con locomotoras trole y carros Granby de 66 ft<sup>3</sup> que se colocan en el nivel inferior donde descargan los chorreaderos. Este mineral se lleva a la estación de trituración primaria y es manteado a la tolva de gruesos donde se sigue hasta la planta de beneficio.

El relleno hidráulico se maneja por medio de una red de tuberías de 4" de diámetro que distribuye el jal a barrenos que lo conducen al nivel superior de la mina y de éstos a los rebajes.

Las características del jal de relleno son las siguientes:

- Alimentación al ciclón (Colas de flotación)

Gravedad específica de los sólidos	2.750
Gravedad específica de la pulpa	1.275
Por ciento de sólidos	32%
  
- Arenas (Descarga ciclón)

Gravedad específica de sólidos	2.80
Gravedad específica de la pulpa	1.75
Por ciento de sólidos	72%

La decantación se efectúa mediante torres de madera formadas por tabloncillos de 2" x 12", perforados con barrenos de 1" y forrados de yute para obtener una buena percolación y mayor velocidad de decantación.

#### 6.1.2.6 CORTE Y RELLENO CON TEPETATE

Es un método indicado para vetas firmes con respaldos flojos e inclinaciones mayores de 50°.

El tumba se hace siguiendo los pasos:

- a) Tumba del primer corte horizontal que deberá hacerse siempre de banco para no aflojar la cabeza.
- b) Rezagado de la carga y jalón a las alcancías.
- c) Anillados y caminos a alcancías.
- d) Chorrear tepetate.
- e) Retacar y hacer planilla al nivel del anillado.

La ventilación de la mina es regular y tiene una seguridad buena. La extracción se hace por medio de traspaleo a la alcancía y por gravedad.

Las ventajas de este método son:

- a) Es estable por el relleno.
- b) Seguro.
- c) Se pueden seguir hilos al alto y al bajo.
- d) Es selectivo.
- e) No se almacena el mineral.

Las desventajas son:

- a) El tumbé es intermitente y por lo tanto lento.
- b) Altos costos.

Este tipo de método es utilizado en la Mina Guadalupe-Gallega, en Zacualpan, Edo. de México.

Las estructuras miden de 1.5 a 8 m, se preparan los blocks cerca de ellas por medio de una rampa de 18% de pendiente en la parte recta y 10% en la curva.

Dependiendo de la longitud de los blocks es el número de metaleras y contrapozos Robbins para ventilación y relleno. Para el tumbé se utilizan máquinas de pierna BBC 24W de Atlas Copco. La plantilla es de 0.70 m de bordo por 0.70 m de espaciamiento, la barrenación es hacia arriba con 70° de inclinación.

El rezagado se hace con una hormiga de 1 yd<sup>3</sup> y 6 de 2 yd<sup>3</sup> y acarreo con una locomotora AGV de 8 ton con carros Gramby de 80 ft<sup>3</sup>. La extracción del mineral se hace por medio del Tiro Central que tiene 4.5 m de diámetro, equipado de dos compartimentos para movimientos de los skips, otro para las calesas, camino de emergencia y tuberías de aire, agua, diesel.

Algunas zonas en la mina requieren de ademe y se utilizan para ello marcos de acero de vigueta IPR de 8" y 5 1/4", o anclas split set de 1.76 m con tela ciclónica.

El relleno que se mete a la mina se corta en superficie y es transportado en camiones de volteo y vaciado a través de los contrapozos Robbins hasta el interior de los rebajes donde se distribuye con los Scoop Tramps, el tepetate que sale de la mina también se utiliza como relleno.

#### 6.1.2.7 LIXIVIACION IN SITU

Consiste en disolver selectivamente los minerales contenidos en la mena por medio de un solvente, se dejan en el terreno los minerales de ganga y se colectan los fluidos enriquecidos con los minerales en solución, que después son separados y concentrados por otros procesos afines a los metales contenidos en las soluciones enriquecidas y reciclar las soluciones estériles después de acondicionarlas como agentes lixiviantes.

Para llevar a cabo este tipo de explotación es determinante la forma del yacimiento, ya que con menor cantidad de soldaduras puede haber mayor fracturamiento. Esta voladura tiene que ser diseñada con:

- a) Las condiciones del cuerpo mineral y la roca que lo rodea.
- b) Las propiedades mecánicas de las rocas.
- c) Con base en condiciones sísmicas que reduzcan el potencial de daños a construcciones vecinas.
- d) Proyecciones de roca (Que aumenten el coeficiente de abundamiento mientras se reduce la cantidad de roca que vuela a grandes distancias).
- e) Factores de potencia y localización (el disparo es diseñado con una serie de pequeñas cargas disparadas de acuerdo a sus propios problemas y limitaciones).
- f) Distribución de explosivos (de manera que se tenga una fragmentación óptima y una buena permeabilidad al menor costo).
- g) Sistema de iniciación y retardación.
- h) Seguridad.

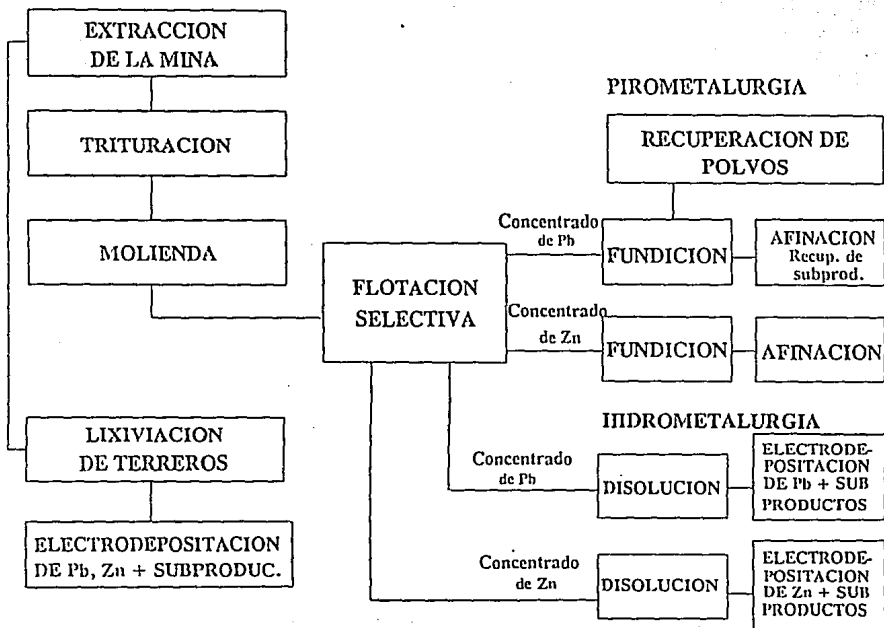
#### 6.2 BENEFICIO

El proceso de flotación es un método muy común para separar los minerales de las menas y es más eficiente que cualquier otro proceso; posteriormente, se llevan a cabo una serie de operaciones metalúrgicas que permiten obtener uno o más concentrados de calidad apropiada para ser sometidos después a la operación metalúrgica propiamente dicha.

Para las menas de plomo-zinc, los minerales son removidos por separado en pasos sucesivos de flotación, el procedimiento más común es por concentración gravimétrica seguida por un simple paso de flotación.

En la siguiente tabla se presenta un diagrama de este proceso.

## METALURGIA (BENEFICIO DE LAS MENAS DE Pb-Zn)



### 6.2.1 TRITURACION

A esta sección llega el mineral sacado de la mina y se vacía en la tolva de gruesos de donde es llevado a la quebradora primaria; se quiebra en seco hasta un tamaño apropiado para que sea conducido a las máquinas de molienda que se hace por vía húmeda- a un tamaño menor de 3/4"; por lo que se hace en dos o hasta tres etapas.

1a. Etapa. Se quiebra el mineral a un tamaño de 3" con una quebradora primaria de quijada o de tipo giratorio.

2a. Etapa. Se quiebra el mineral a un tamaño de 1/2 - 3/4" en una reductora secundaria giratoria o una quebradora de cono común y corriente.

3a. Etapa. Se reduce el mineral a menos de 3/8" utilizando uno o dos juegos de molinos de rulos (rolls).  
Ver fig. 6.2.1.a.

Como un ejemplo a esta sección de trituración se menciona la Mina de Fresnillo en Zacatecas.

De la tolva de gruesos donde el mineral es triturado a -6" se pasa por un alimentador a una criba vibratoria, los gruesos resultantes pasan a una quebradora que reduce el mineral a -2" este producto vuelve a pasar por otra criba vibratoria, el grueso de ésta es llamado "Número 1" y se distribuye a dos quebradoras de cono de cabeza corta que reduce el mineral a -3/8"; el producto es transportado a las tolvas de almacenamiento de finos de 1,000 ton de capacidad. La trituración es de 300 ton/h y el producto final tiene una granulometría de 76% a -3/8".

### 6.2.2 MOLIENDA

La función de esta sección es de acondicionar el mineral a un tamaño óptimo para que se logre la liberación de los valores de la mena.

El mineral resultante de la trituración se lleva a un molino para obtener finos, que es la primera sección de molienda, de ahí se lleva a otros molinos de bolas (es una coraza de forma cilíndrica o cónica sostenida en chumaceras para muñones huecos sobre los que giran) que trabajan en circuito con clasificadores mecánicos.

El mineral entra por un muñón y sale por otro; las bolas sólo llenan la mitad del molino manteniéndose accionado a tal velocidad que la caída de cascada de las bolas y su acción de rodamiento produzcan el efecto máximo de molienda. La caída en cascada rompe el mineral por impacto y el rodamiento que sufren las bolas hace que éstas desintegren las partículas con base en un desgaste de fricción.

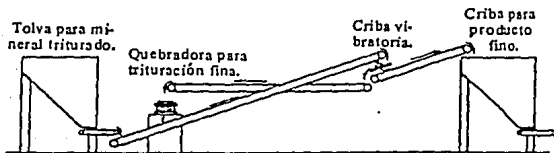
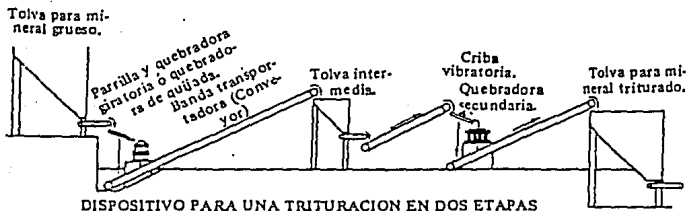


fig. 6.2.1.a.- Arreglos distributivos para trituración en dos y tres etapas (Rabone, 1975)

La pulpa contiene de 25 a 30% de agua, bastante espesa para que permanezca en los espacios intersticiales formados por las bolas, esta pulpa se pasa a un clasificador donde se diluye más y pasa a una segunda etapa que es un segundo clasificador, que da por terminada la sección de molienda.  
Ver fig. 6.2.a.

### 6.2.3 FLOTACION

Los minerales más comunes en las menas de sulfuros de plomo y zinc son: galena, esfalerita, piritita, y pequeñas cantidades pirrotita.

Para hacer la separación de éstos dos minerales se hace en dos etapas, se producen concentrados de plomo y zinc, se rechaza la piritita cuando esta presente y se envía a las colas.

El tipo de circuito que se emplea se muestra en la fig. 6.2.3.a

La tabla 6.2.3.b muestra combinaciones de reactivos para tratar las menas de plomo con zinc.

1a. Etapa. Los sulfuros de zinc se deprimen con cianuro de sodio y sulfato de zinc, se adiciona ocasionalmente sulfito de sodio. La galena es flotada con xantato etílico o con xantato isopropílico y ácido cresílico u otro espumante ligero. Esto produce una pulpa espesa (W/S de 1.5/1 a 2.5/1).

2a. Etapa. Las colas primarias de plomo pasan a un tanque acondicionador donde los minerales de zinc son activados con sulfatos de cobre; la activación de esfalerita de alto grado se puede hacer en un rango de 15 a 20 min., especialmente para los sulfuros de zinc de baja ley, otras menas son más lentas en su activación ya que requieren de calentamiento.

### 6.2.4 METALURGIA DEL PLOMO

El plomo se recupera de los concentrados por fundición en hornos de soplado (blast-furnaces) o de hogares. El proceso metalúrgico de fusión comprende:

- a) Preparación de carga.
- b) Necesidad de fundentes.
- c) Afinación

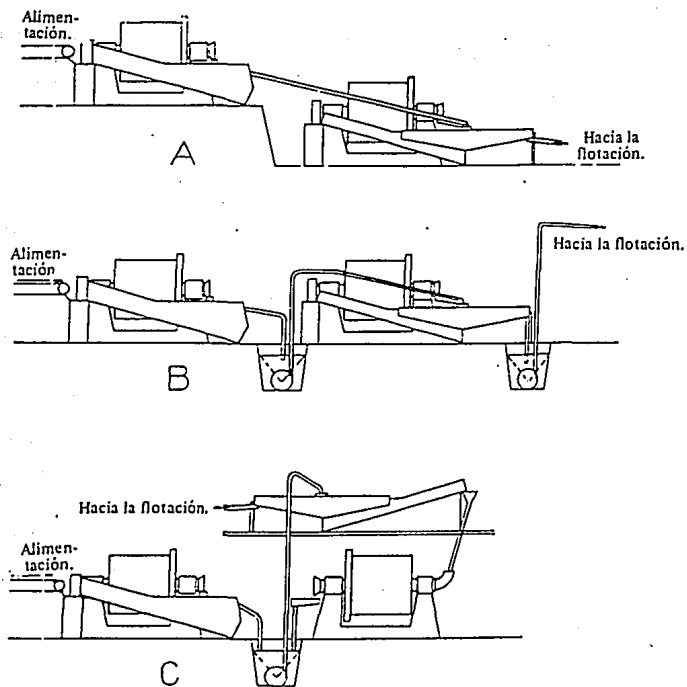


fig. 6.2.2.a.- Esquemas dispositivos para una molienda en dos etapas.  
(Rabone, 1975)



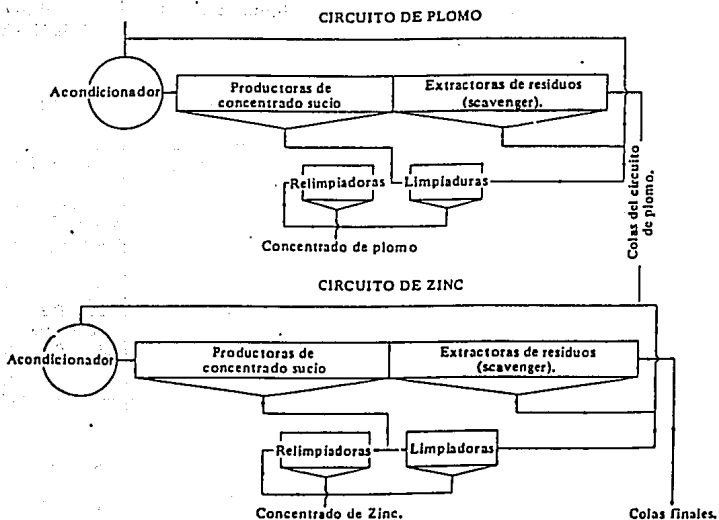


fig. 6.2.3.a.- Circuito para el tratamiento de menas de plomo con zinc  
(Rabone, 1975)

TABLA No. 6.2.3.b. - COMBINACION DE REACTIVOS PARA EL TRATAMIENTO DE MENAS DE PLOMO CON ZINC. (RABONE, 1975)

Reactivo	Punto de adición	Consumo de Libras por Toneladas
<b>CIRCUITO DE PLOMO:</b>		
Xantato colector .....	Primarias de plomo	0.05 - 0.1
o Aerofloat colector.....	Circuito de molienda o en el acondicionador	0.05 - 0.15
Cianuro de sodio.....	Idem.	0.1 - 0.5
Sulfato de zinc.....	Idem.	0.3 - 1.2
Ceniza de sosa ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )..... (cuando se requiera)	Idem.	2 - 4
Acido Cresílico.....	Primarias de plomo	0.05 - 0.2
Alcohol o espumante ligero.....	Idem.	0.02 - 0.06
pH del circuito.....	_____	7.5 - 9.5
<b>CIRCUITO DE ZINC:</b>		
Cristales de Sulfato de cobre.....	Acondicionador	0.5 - 2
Cal.....	Idem.	1 - 4
Xantato colector .....	Primarias de zinc	0.1 - 0.2
Aerofloat de sodio, cuando se requiera.....	Acondicionador	0.02 - 0.1
Aceite de pino o ácido cresílico.....	Primarias de zinc	0.05 - 0.2
pH del circuito.....	_____	8.5 - 10

En los hornos de soplado, el azufre es eliminado por procesos de calentamiento y sinterización, el monóxido de carbono formado y el carbón sólido reducen los compuestos oxidados de plomo a "bullion" que contiene los metales preciosos presentes en el mineral y las impurezas metálicas que son recuperadas en las operaciones de refinación.

En las fundiciones primarias se recupera del 97 al 99% del plomo, generalmente el bullion de plomo es puro "plomo-químico", y se utiliza en la mayoría de las aplicaciones comerciales, en otros casos el bullion contiene cantidades de oro y plata y subproductos de metales básicos que hacen rentable su recuperación, para ello se siguen los siguientes métodos de refinación.

a) Descubrización. Por ser muy bajo el contenido de cobre en el plomo esta actividad se realiza en la refinería de plomo.

b) Ablandamiento. Elimina el arsénico, antimonio y el estaño que hacen que el plomo se endurezca.

c) Desplatación. Se elimina el oro, plata o níquel que quedan después de eliminar el cobre.

d) Descincación. Separa el 0.5% de zinc que queda después del proceso de desplatación.

f) Refinación Final. Se agrega sosa cáustica para eliminar vestigios del arsénico, antimonio, estaño o zinc hasta la cuarta cifra decimal.

g) Vaciado. El plomo refinado se vacía en diferentes moldes de la forma que se demande en el mercado.

#### 6.2.5 METALURGIA DEL ZINC

El tratamiento del zinc se hace por dos vías:

a) Vía Húmeda.- Proceso electrolítico que produce zinc puro hasta con un 905 de ley, pero se requiere para ello gran consumo de energía eléctrica, por lo que este procedimiento se lleva a cabo en países con plantas electrolíticas con producciones de 400, 200 y 150 TM diarias en Trail, Canadá; Narvik, Noruega y Asturias, España respectivamente. En México, el método empleado en Zincamec es el proceso "Overpelt".

Con este procedimiento se tratan esfaleritas complejas con excesivas proporciones de impurezas de hierro, plomo y excesivas proporciones de impurezas de hierro, plomo y cobre; bajo el principio de la reducción del óxido por materias carbonosas. El sulfuro zinc se convierte en sulfato por calcinación en exceso de aire, según la reacción:



buscando por la formación de la máxima cantidad de sulfato, o por la acción del ácido sulfúrico diluido sobre el óxido según la reacción:



La solución resultante se trata con cal y polvo de zinc para eliminar impurezas y se somete a la acción electrolítica, con cátodos de aluminio y ánodos de plomo y otros metales, usando diafragmas de celulosa o materiales nitrados para separación de los ánodos y cátodos.

b) Vía seca.- Es un proceso térmico de reducción de los óxidos que químicamente se refiere a apartar el oxígeno del compuesto y liberar el otro elemento.



para lo cual "se mezcla el óxido con la cantidad necesaria y suficiente de reductor, material con alto contenido en carbono fijo, bajo en cenizas y MV, hullas de antigua formación, coque finamente dividido o antracita.

Carga modelo:

ZnO con 62.00% de ley - del 1.00% de S	
y - del 9.00% de Fe	53.00%
Polvo azul y ZnO de retorno <sup>1</sup>	22.67%
Reductor con más de 75% de C.F.	23.67%
Sal común <sup>2</sup>	0.66%
	-----
	100.00%

(Sobrino L., Manuel, 1971)

Cuando el crisol ya esta cargado se hace un orificio longitudinal y superior en toda la carga para que facilite la salida de vapor de agua y los vapores de Cd y Zn de lo contrario se puede producir una súbita expansión y proyectar la carga fuera del crisol.

La temperatura debe ser de  $\pm 1,100^\circ\text{C}$  ascendiendo en forma rápida y gradual hasta  $1,350^\circ\text{C}$ .

Este ciclo se considera en tres fases:

- 1) Química o de reducción.
- 2) Física o de separación de gases y condensación de éstos.

3) Mecánica o de obtención del producto directo.

<sup>1</sup> Polvo finísimo de zinc, de vapores del mismo sublimados que escaparon a la condensación y ZnO producidos por oxidación de vapores por el CO, por rotura de crisoles, ambos tienen propiedades catalíticas en la reducción.

<sup>2</sup> Se aprovecha la propiedad de aumentar ligeramente el índice de condensación, fijando partículas gaseosas que se volatilizan.

Hidrometalurgia. Electrodeposición de zinc.

Este proceso se lleva a cabo con la secuencia:

1) Tostación de los minerales sulfurados de zinc obteniéndose un calcinado de óxido de zinc y bióxido de azufre, éste último se procesa para obtener ácido sulfúrico.

2) El calcinado de zinc se lixivia con electrólito agotado (proveniente de la electrólisis del zinc) de la que se obtiene una solución con pH de 4.5-5.0 para purificación.

3) El calcinado que no reacciona se trata con ácido sulfúrico diluido y caliente obteniéndose un residuo para filtrar y retirar del circuito y otra solución donde se precipita el hierro como jarosita.

4) Purificación de la solución, que después pasa a celdas electrolíticas para el electrodeposición de zinc. Los cátodos de zinc se funden en hornos eléctricos de inducción para que se moldee en lingotes de 25 y 100 kg.

5) Como subproductos del zinc se obtiene: cementos de cobre, cementos de cobalto, polvo de zinc y cadmio metálico.

## 6.2 BIBLIOGRAFIA

- Acevedo C., Alberto, 1980. Estudio para la obtención de plomo a partir de concentrados de galena por hidrometalúrgia. GEOMIMET, No. 107.
- Comisión de Fomento Minero, 1970. Plomo. Depto. de Estudios Económicos.
- Parga P., José de Jesús, 1976. Proyecto de Exploración y Beneficio por el Sistema de Lixiviación In Situ del Yacimiento Cuprouranífero Luz del Cobre, Mpio. de Soyopa, Estado de Sonora. Tesis Profesional, UAZ. Escuela de Ingeniería.
- Parga P., José de Jesús, 1993. (Comunicación personal)
- Rabone, Philip, 1975. Concentración de minerales por flotación. Comisión de Fomento Minero. 4 Ed., México.
- Sobrino Leal, M., 1971. Memoria de la IX Conv. Nal. de AIMMGM.
- Soc. of Economic Geologist. 1986, 1987, 1989. Minas Mexicanas. Tomo 1, 2, 3 y 4. Am. Inst. of Mining Met. and Petr. Eng.
- Zaragoza, S. Juan I., 1969. Explotación de pilares de minerales de plomo-sinc en la Mina La Prieta del Distrito de Parral, Chih. Tesis profesional.

## **CAPITULO 7. APLICACIONES**

### **7.1 Plomo**

#### **7.1.1 Aleaciones**

### **7.2 Zinc**

### **7.3 Bibliografía**

## 7 APLICACIONES

### 7.1 PLOMO

Este se ha empleado durante siglos para fabricar aparatos que utiliza el hombre. Se menciona en el Antiguo Testamento de la Biblia; los romanos lo utilizaron en tuberías de agua y utensilios de cocina.

Su bajo punto de fusión y suavidad, hace que éste sea muy maleable por lo que permite que se vacíe y se le dé forma con mucha facilidad.

Se puede mezclar con otros metales para formar aleaciones útiles. En los 80's, en E.U. se utilizaban 1.5 millones de toneladas de plomo. Cerca de la mitad de esta cantidad era plomo reciclado y el resto de origen metalúrgico.

Este metal se usa en una gran variedad de productos incluyendo baterías de almacenamiento, compuestos químicos antidetonantes para la gasolina, pigmentos para pinturas y vidriados cerámicos.

Asimismo el plomo se utiliza en la elaboración de compuestos de alquino de plomo (tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo) que se usan como aditivos antidetonantes en la gasolina.

Trihidrato de estanoato de plomo II  $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Con el nombre de sal de saturno, se obtiene por reacción entre el litargirio y el ácido acético. Cristalizado, funde a  $75^\circ\text{C}$  en su agua de cristalización. Muy soluble con soluciones iónicas. Muy venenoso. Se emplea como mordiente, en la industria de la seda; y en la preparación de otras sales de plomo, entre ellas pinturas.

Estanoatos básicos de plomo II. Corresponden a las siguientes formulas  $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Pb} \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$  y  $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Pb} \cdot 2\text{Pb}(\text{OH})_2$ . Son muy solubles. Se emplean, entre otros usos, en el tratamiento de quemaduras.

Estanoato de plomo IV,  $(\text{CH}_3\text{COO})_4 \text{Pb}$ . Se prepara calentando minio pulverizado, con ácido acético. Presenta cristales aciculares, incoloros, que funden a  $175^\circ\text{C}$ , se hidroliza. Oxidante muy poderoso y como tal se emplea en algunas reacciones orgánicas.

La fabricación de acumuladores constituye la principal utilización del plomo (un 50 % del consumo total), ya sea en forma metálica (parrillas y bornes de plomo aleado) en forma de materia activa (mezcla de óxido de plomo y de diversos aditivos).



Entre los restantes usos del plomo metálico, algunas como la fabricación de caracteres de imprenta, revestimientos de cables eléctricos y tuberías para canalización de agua y de gas (casi en desuso por la evolución tecnológica). Progresan a aplicaciones, como las cintas y planchas de plomo laminado para revestimiento e insonorización de edificios; las cápsulas de los tapones de vinos y alcoholes de calidad y la soldadura (esencialmente para las aleaciones plomo-estaño). Entre estas aplicaciones utilizadas en la lucha contra la corrosión (industria química), y en la protección contra las radiaciones (instalaciones de rayos X o gama, energía nuclear).

La elevada densidad del plomo y su facilidad de fusión tiene aplicación de contrapesos para ruedas de automóviles, lastres para redes pesqueras; quillas de barcos, etc.

Los compuestos químicos del plomo son importantes por sus aplicaciones industriales. Los óxidos de plomo se utilizan en la fabricación de la materia activa de los acumuladores, en la industria del vidrio (24 a 30 % en el cristal), en electrónica (tubos de televisión), para la fabricación de pigmentos (en particular el amarillo de cromo), pinturas anticorrosivas (pinturas al minio), estabilizantes para plásticos, en el vidriado de la cerámica, etc.

Ejemplos de especificación y aplicación del plomo y sus aleaciones:

En términos generales, en México, el plomo se clasifica como primario el que es obtenido de la minas y después es refinado; el plomo secundario el que es recuperado a partir de: acumuladores, recubrimientos de cables, escorias y otros materiales.

Una clasificación más detallada, dependiendo de su aplicación particular, es la siguiente.

- Plomo refinado.- Se requiere que sea de alta pureza ya que se destina a la elaboración de compuestos químicos como pigmentos de plomo.

- Plomo químico.- Maneja pequeñas cantidades de aleantes como cobre o plata que le dan al plomo resistencia a la corrosión.

- Plomo para recubrimientos sobre cobre.- Tiene propiedades similares al plomo químicos excepto que el porcentaje de plata es menor e incluye un alto contenido de bismuto.

- Plomo comercial.- Sus características son similares al plomo refinado en composición pero no presenta resistencia a la corrosión.

#### 7.1.1 ALEACIONES.

Se hacen aleaciones con el plomo para mejorar sus características propias, como: resistencia mecánica, dureza, resistencia al arrastre y resistencia a la corrosión. El plomo aleado, después de ser fundido, tiende a aumentar su dureza a medida que pasa el tiempo, fenómeno conocido como envejecimiento y es afectado de diferente forma por cada uno de los aleantes.

El efecto de cada aleante es difícil de medir y predecir pero se ha observado que la variación en las propiedades mecánicas es proporcional a la diferencia de radios atómicos del plomo y del aleante cuando se trata únicamente de un aleante.

En general el uso de aleantes mejora las propiedades mecánicas pero disminuye la resistencia a la corrosión en algunos casos.

El comportamiento del plomo con algunos aleantes es el siguiente:

- Antimonio.- Se conoce como plomo antimonial y contiene 1 a 13% de Sb. Presenta mejores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la corrosión. Además se vuelve más duro y cuando es enrollado sus características de dureza, resistencia a la tensión y al arrastre se vuelven más pronunciadas. De acuerdo al porcentaje de antimonio se usa de la siguiente manera: Una aleación con no más de 13% de antimonio se usa para fundiciones que requieren gran dureza sin exceder este límite ya que tiende a volverse más quebradizo el metal y disminuye la corrosión. Aleaciones con 0.80-1.15 % de Sb son útiles para tuberías y ánodos de celdas electrolíticas de recubrimiento anódico. Su empleo en acumuladores tiene una composición de 3-8 % Sb.

- Calcio.- La utilización de este elemento va acompañada de estaño. El intervalo es 0.03-0.1 % Ca y en algunos casos 1.5 % Sn. En el proceso, es de extremo cuidado, la adecuada fundición ya que fácilmente se pierde el calcio por oxidación con el aire. Esta aleación mejora la resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y tiempo de envejecimiento, comparada con el plomo antimonial.

El estaño en la aleación plomo-calcio le da mayor resistencia a la tensión pero se hace necesario emplear mayor tiempo de curado después de la fundición.

Su aplicación es en rejillas de acumuladores, recubrimientos de cables, ánodos, equipo para manejo de químicos y otras aplicaciones como barreras de protección contra la radiación.

- Estaño.- Permite un amplio intervalo de composiciones. Presenta mejores propiedades mecánicas y químicas que el plomo antimonial. Si aumenta el contenido de estaño, la densidad y el punto de fusión disminuyen por lo que se emplea en soldaduras de bajo punto de fusión y la soldadura obtenida es de gran resistencia.

La aleación Pb-Sn-Sb le da mayor dureza a los recubrimientos y en algunos casos llegan a ser más resistentes a la corrosión. Esta aleación tiene un bajo coeficiente de fricción lo cual se aprovecha para usarse en rociadores de vapor de reactores.

Algunas aplicaciones son en ánodos (7% Sn) y en recubrimientos sobre cobre y acero.

- Telurio.- Esta aleación requiere la presencia de cobre, de lo contrario es poco resistente a la corrosión en algunas soluciones como ácido sulfúrico. Por lo anterior se le ha aleado con plomo químico, en concentraciones como 0.04-0.05 % Te y 0.04-0.08 % Cu, concentración óptima y en ausencia de cobre el contenido de telurio es de 0.1 % máximo. El grano obtenido (cuando tiene cobre) es refinado y se puede trabajar en duro sin fracturarse al manipularlo siendo útil para los serpentines de vapor.

- Plata.- Es de alta resistencia a la corrosión al alearlo con plomo químico (0.002-0.2 % Ag). En ánodos con variaciones de corrientes, en aplicaciones de refinación electrolítica de zinc y magnesio o en ánodos para protección catódica de fondos de barcos se emplea una composición del 1% de Ag. En recubrimientos metalúrgicos sobre acero una aleación con 0.1% de plata es adecuada.

- Arsénico.- Para obtener una aleación con buenas propiedades químicas y mecánicas se requiere presencia de Sn, Bi, Sb y Te. Un ejemplo es la aleación que contiene 0.15 % As, 0.1 % Sn y 0.1 % Bi que es un metal muy útil por su fácil manejo para dobles y resistente al arrastre, características necesarias en los recubrimientos de cables que se encuentran expuestos a vibraciones. Aleado con plomo antimonial endurece más rápido la aleación.

## 7.2 ZINC

El zinc comercial es vendido a la industria, la mayor parte en forma de loza de zinc en grados producidos como fundiciones primarias o como aleaciones basadas en zinc específico, para moldeado o galvanizado. El metal de zinc es comercializado en forma de lámina y tira, polvo y pulverizado, dependiendo de los requerimientos de consumo; el latón es generalmente vendido como lingote, el cual es usado para piezas de fundición y fábricas para la producción de rodillos struders, estampados y productos forjados

El óxido de zinc ocupa la mayor parte del mercado químico de zinc; es adquirido de acuerdo a las especificaciones ASTM, forma y tamaño de las partículas a requerimiento del cliente; otros químicos, tales como el sulfato de zinc y cloruro son comercializados en las más altas purezas y grados técnicos, en pequeños sacos para cargamentos de producción; el cloruro de zinc es con frecuencia vendido como una solución en tanque.

Aunque el zinc es un metal ampliamente usado, su importancia es menos obvia que la de los metales como hierro, aluminio, cobre, y plomo porque el zinc guarda más su identidad en productos finales.

El uso de los metales está basado en un cierto número de propiedades; su mayor importancia es por su bajo punto de fusión, el cual facilita la formación de piezas de fundición; su gran actividad electroquímica por la cual el zinc provee protección para la corrosión catódica al hierro y productos de acero; su habilidad para una pronta aleación con cobre para hacer latón con características de trabajo de aleación a bajas temperaturas; protección para la corrosión y acabados atractivos. La galvanización es el proceso de recubrimiento de productos de acero con zinc; protege al acero de la corrosión en dos formas; la primera da una barrera de larga vida al evitar el contacto entre la base de acero y su contorno corrosivo y segundo, cuando es quebrado o corroído lo protege por acción galvánica.

El compuesto de zinc más ampliamente usado es el óxido de zinc; sus usos se basan en la capacidad para la luz ultravioleta y su índice de refracción, que proporciona durabilidad y gran poder de ocultación en los colores; la actividad química como un acelerador esencial y activador en la vulcanización del caucho; las propiedades electrostáticas y fotoconductoras en fotocopiado.

El óxido de zinc también sirve como material de inicio para producir otras químicas de zinc las cuales son usadas en muchos productos tales como tintas, aceites, aditivos, buenos preservativos, fungicidas, barnices y linoleums.

Un mayor uso del zinc está en la construcción de partes industriales, estructuras de granja, puentes, carreteras, edificios residenciales y comerciales. Grandes cantidades de zinc son usadas en componentes estructurales de acero galvanizado, techos, entablado, barras de reforzamiento, tanques de almacenamiento, defensas, cuerdas de alambre y broches tales como tuercas y pernos.

Las hojas galvanizadas son usadas como tubos de material standar para aire acondicionado, ventilación y sistemas de enfriamiento. El zinc lanzado en la construcción es una loza dura para puertas, ventanas, muebles y gabinetes, candados y llaves, adecuados para baños y plomería.

El polvo de zinc es de primera importancia en pinturas y protección completa para el sistema de estructura de acero.

El óxido de zinc es usado en la producción de aceite, base para pintura y es un ingrediente necesario para la pintura de látex que evita la necesidad de recubrimiento. Latón, zinc moldeado y bronce han encontrado un extenso uso en la construcción arquitectónica y loza dura en edificios; latón y bronce son adecuados para llaves y válvulas. Con gran importancia en la plomería y calefacción de las industrias, el latón es considerado como un condensador y cambia el color de los tubos.

En la industria de la transportación, principalmente el sector automovilístico es el segundo más grande consumidor del zinc en rejas, manubrios, cerrojos, componentes mecánicos y eléctricos, carrocerías duras, molduras e instrumentos de iluminación para uso intensivo en automóviles y en otras formas de transportación. El latón es usado para tuberías y adornos decorativos.

En la maquinaria, para la agricultura, los caminos, los edificios, las excavaciones, el manejo de materiales, etc., requieren del zinc para protección de corrosión.

Los rodillos de zinc en forma de tira, hoja, alambre y barras tienen gran variedad de aplicaciones comerciales. Después de 1982, hubo aplicación doméstica en rodillos de zinc, y los cilindros de zinc son usados como pila seca para cubiertas de batería, galones, material para techar, planchas de grabado, y ánodo como protección de descarga, cañerías y plataforma marítima.

Los polvos de zinc, sirven también para la fabricación de pinturas de primera calidad. También es usado para protección superficial de pernos, para la precipitación de metales nobles en solución; para desplatear plomo por el proceso de Parkes, y en electrodo-atrayente para remover impurezas de las soluciones tales como cobre, cadmio, y níquel antes de la electrólisis.

Los compuestos de zinc son usados también para corrosión-inhibición de pinturas, catalíticos químicos, y soldaduras flexibles, fungicidas y farmacéuticos; para tubos catódicos y radares de alcance, vapores químicos, y aditivos para aceites, lubricantes y grasas. El zinc ferroso es usado como dispositivo electrónico en transformadores, bobinas, amplificadores, motores, y sintonizadores y en dispositivos electrónicos para radio, televisión y computadoras. La borona de piedra (es un pigmento de sulfuro de zinc-sulfato de bario) es usado en pinturas, caucho, y tintas para la impresión. El sulfato de zinc y cloruro de zinc son otras dos importantes químicas del zinc que son usadas en refractarios, preservación de madera, fundentes, y micronutrientes.

El zinc es también un elemento requerido en la nutrición animal y humana y un aditivo en los fertilizantes de plantas. Ambas aplicaciones son importantes.

#### POSIBLES PROGRESOS TECNOLOGICOS

Con la elevación de costos en la minería; un mayor énfasis será empleado sobre control computarizado y automatizado de todas las operaciones posibles en minería. La recuperación de esfalerita de las minas de hulla podría ser una fuente importante de zinc. Si se emplea mayor cuidado en los métodos de beneficio de las minas de hulla para producir el contenido de azufre, las concentraciones de zinc encontradas por electrodo-atrayente de zinc y la producción concurrente de azufre elemental podrán incrementarse por varias razones económicas y

de desarrollo; la recuperación del contenido relativamente bajo del zinc (2% - 15%) en concentrado de plomo podría ser mejorada y más fácilmente acoplada por el uso de los procesos de tecnología KIVCET. Comúnmente, el zinc en las concentraciones de plomo es recuperado por procesos de separación de los vapores del plomo al alto-horno o escoria o por el proceso de Imperial Smelting.

La tecnología del plasma y mejores de los procesos comunes podrían resultar en grandes incrementos en la recuperación de zinc de los ductos de plantas de acero.

El desarrollo de nuevas aleaciones pueden abrir nuevos mercados para el zinc. Las aleaciones superplásticas de zinc y aluminio han sido propuestas como sustitutos para aplicaciones de lámina de acero por su maleabilidad a altas temperaturas, seguridad y alta potencia en cámaras de alta temperatura. Algunos de los avances en las técnicas de protección para corrosión, deberían utilizarse pinturas metálicas de zinc y ricas en zinc y revestimientos, incluyendo un revestimiento de aluminio-zinc que podría sustituir la galvanización.

### 7.3 BIBLIOGRAFIA

Atrinson, G. B.; Muyphy, J. E. y Bussines, J. A., 1982. Eisele purification of CI - O Leach Liquors by zinc Cementation. RI 8707

Coatings, 1983. Automotive Market for Zinc.

Dicrejon, T. R., 1980. Química Enfoque Ecológico. Ed. Limusa, México.

Engineering and Mining Journal, 1981. Sherrutt Comercializas Zinc. Pressure Leaching. Vol. 182. No. 12.

Jolly, James H., 1982 .Physical Scientist. Division of Norxterrous Metals.