



10

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

METOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y PROSPECCIÓN DE UN YACIMIENTO MINERAL EN LA MINA "LA HERRADURA", SONORA

298536
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
MA. DE LOS ANGELES KAIM BENASCO

DIRECTOR DE TESIS
ING. GERMAN ARRIAGA GARCIA



MEXICO, D.F.

2001

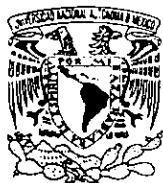


UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

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-I-1645

SRITA. MARIA DE LOS ANGELES KAIM BENASCO
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:

**METODOLOGIA PARA LA EVALUACION Y PROSPECCION DE UN YACIMIENTO
MINERAL EN LA MINA "LA HERRADURA", SONORA**

- I GENERALIDADES
- II GEOLOGIA REGIONAL
- III GEOLOGIA LOCAL
- IV YACIMIENTOS MINERALES
- V SISTEMA DE MUESTREO Y EVALUACION DE RESERVAS
- VI PROGRAMA DE EXPLORACION
- BIBLIOGRAFIA

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

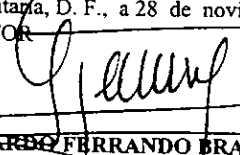
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 28 de noviembre de 2000

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

PP

IMPRESOS TESIS
 URGENTES

M **OYA**

LIBROS •
FOLLETOS •
OFFSET •
SOCIALES •

Agustín Juárez P.

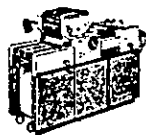
CUBA No. 99 DESP. 1, 1er. PISO
COL. CENTRO

MEXICO, D.F.
CEL. 044-2111-4601

INDICE

Resumen	1
Introducción	4
Prospecciones conducentes a la localización de la mena	5
Prospecciones conducentes a la ampliación de reservas	6
Prospecciones conducentes a la exploración de una mena	6
1. Generalidades	8
2. Geología Regional	11
Marco tectónico Regional	12
Estratigrafía	13
Litología	16
3. Geología Local	17
Geología Estructural	18
4. Yacimientos Minerales	21
Alteraciones	24
5. Cartografía Geológica Superficial	26
6. Sistema de Muestreo y Evaluación de Reservas	28
Metodología	28
Evaluación de Reservas	30

7. Programa de Exploración	34
Barrenación total realizada en el proyecto La Herradura	35
8. Anexos	37
Voladuras	37
Ecología	40
Área de planta (lixiviación en montones)	42
Área de Mina	47
9. Conclusiones	49
Bibliografía	51



T E S I S “Tere”

**PONE A SUS ORDENES SU SERVICIO
DE ELABORACIÓN DE TESIS Y EMPASTADOS
EN 24 HORAS.**

**PALMA NORTE No. 518 DESP. 210 COL. CENTRO
ENTRE BELISARIO DOMINGUEZ Y REP. DE CUBA
TEL. 55-18-07-19**

RESUMEN.

La mina "La Herradura" se encuentra a 100Km. en línea recta al NW de Caborca y a 260 Km. de Hermosillo, en el estado de Sonora, México.

El Distrito Minero en el cual se localiza el yacimiento de La Herradura pertenece a la provincia Llanura Sonorense, que forma parte de la subprovincia fisiográfica Sierras y Llanuras Sonorenses. Dos eventos de gran magnitud influyen en la geología de la región: 1) Megacizalla Mojave-Sonora, la cual tiene un desplazamiento lateral izquierdo y 2) La abertura del Golfo de California ocasionada por la Falla de San Andrés, con un movimiento lateral derecho.

La estratigrafía local se encuentra conformada por:

Precámbrico, formado por rocas ígneas y metamórficas, repartidas en dos unidades:

1) Rocas metamórficas de alto grado de metamorfismo (anfíbolitas, gneisses y micaesquistos).

2) Rocas plutónicas

Paleozoico, constituido por rocas sedimentarias: calcáreas fosilíferas y areniscas deformadas.

Jurásico, divididas en Metavolcánicas (Rocas vulcanosedimentarias con bajo grado de metamorfismo, meta-riolitas, meta-riodacitas, tobas de flujo de cenizas, metapórfidos de emplazamiento subvolcánico, metandesitas de composición calcoalcalina). Metasedimentos: Rocas metasedimentarias

deformadas con bajo grado de metamorfismo en facies de esquistos verde, (constituidos por metalimolitas y metareniscas calcáreas).

Terciario, Rocas volcánicas continentales, lavas y flujos de composición traquítica y andesítica.

Cuaternario, Rocas volcánicas de composición basáltica y material aluvial.

Localmente se presentan rocas de edad precámbrica, constituidas por un gneiss de biotita cloritizada (Gqb) y gneiss cuarzofeldespático (Gqf). Esquisto formado principalmente por feldespato, cuarzo, clorita (Sqv) y lateralmente oxidado con carbonatos de hierro (Sqc). Los gneiss se encuentran intrusionados por diques doleríticos y pegmatitas.

Varias fallas dividen el área en 8 dominios estructurales, las fallas transformes E - NE cortan a la estructura en cuatro segmentos, y otras fallas postminerales de orientación N-NW la dividen en otros cuatro.

Dominios Estructurales: 1) Centauro, 2) El Yaqui, 3) Dunas y 10 de Mayo, 4) Centauro Norte, 5) Cerro El Loco, 6) Cerro Mayor, 7) Cizalla La Herradura, 8) La Herradura V.

La mineralización del yacimiento es de tipo hidrotermal de mediana temperatura dentro de un ambiente metamórfico. La mineralización de oro se presenta en el gneiss cuarzo feldespático y en las cataclasitas. Es una mineralización estructuralmente controlada por el ambiente tectónico y por un

sistema de deformación, característico de los terrenos extensionales con fallamiento asociado de desplazamiento a rumbo.

Las principales alteraciones son sericitización, carbonatación y propilitización.

INTRODUCCIÓN.

En el mundo moderno, la exploración y la prospección minera son técnicas integrantes de la industria y de los programas de desarrollo y abastecimiento de recursos minerales. Definir objetivos primarios de exploración en un trabajo organizado no es tarea simple, esto implica valorar las necesidades de materias primas, analizar los indicadores económicos y estadísticos en cuanto a volúmenes y calidades de minerales requeridos por la industria, además de considerar una serie de factores como los precios de los metales en los mercados nacionales e internacionales, la cantidad y disponibilidad de las reservas mineras locales, etc. Al elegir los objetivos primarios de exploración, se tendrán también que considerar factores políticos, especulativos, tecnológicos y ecológicos. La actitud general de la exploración organizada depende en buena medida de quién la efectúe. Los organismos oficiales en sus programas de exploración generalmente fijan metas a largo plazo, en tanto que en la iniciativa privada se consideran seriamente los términos redituables a plazos más cortos.

La fase completa de exploración involucra problemas técnicos complejos que abarcan desde la evaluación geológico-minero-metalúrgica, hasta otros tan diferentes como suelen ser la concesión legal de los lotes mineros, el abastecimiento adecuado de agua, combustible, energía, el cuidado de la ecología, así como, el reclutamiento, entrenamiento y capacitación del personal que laborará en el proyecto.

PROSPECCIONES CONDUCENTES A LA LOCALIZACION DE LA MENA.

La etapa inicial de toda prospección minera exige al máximo la aplicación de un buen juicio geológico, en donde el investigador tiene que hacer una estimación no solo de la probable existencia de un yacimiento, sino también de su valor aproximado. Así declarado, podrían parecer un conjunto de conjeturas, pero la solución no siempre es tan indeterminada como podría parecer. Rara vez se emprende un trabajo formal, excepto en aquel distrito o zona donde se haya probado la existencia de algunos yacimientos o donde al menos exista un afloramiento o indicios de alteración de rocas. Se puede esperar razonablemente que si se descubre un nuevo criadero, éste tendrá un tamaño y ley comparables a otros criaderos del distrito o al menos el tamaño que indica las dimensiones de los afloramientos. Aunque las sorpresas son siempre posibles, estas evidencias dan alguna idea sobre las probabilidades de la zona en estudio.

La búsqueda de nuevos depósitos comprobará las posibilidades de aquellas guías que puedan ser reconocidas, ya sean afloramientos, monteras, zonas alteradas o rasgos estructurales favorables. El desarrollo de la prospección consistirá de una búsqueda exhaustiva en un gran sector de terreno o en un área restringida, ello dependerá de lo precisas y definidas que parezcan ser las guías existentes.

PROSPECCIONES CONDUCTENTES A LA AMPLIACION DE RESERVAS.

En la mayoría de los trabajos de prospección donde el geólogo tiene la oportunidad de considerar seriamente si se ha encontrado una cantidad importante de reservas minerales, la parte medular de su trabajo consiste en determinar la posibilidad de encontrar más reservas. Si alguno o todos los frentes de desarrollo están aun sobre mineral, la respuesta a la interrogante será afirmativa, por lo que el siguiente paso importante será definir cuanto más se puede encontrar. Una visualización en tres dimensiones de la mena en su asentamiento geológico, será la base de una proyección tentativa. Las tendencias inferidas de la distribución de valores, conjuntamente con las tendencias en la estructura geológica, darán una indicación del probable rumbo, inclinación y continuidad del cuerpo.

PROSPECCIONES CONDUCTENTES A LA EXPLOTACION DE UNA MENA.

En este tipo de trabajos, no existen cuestionamientos serios respecto a la cantidad de material contenido en el depósito. El problema principal será el de determinar si puede o no ser tratado dicho mineral con un beneficio económico razonable. En otras palabras, el planteamiento es que con la existencia evidente del depósito, ¿qué se puede hacer con él y que utilidad podría reportar su extracción.

En la prospección minera la cantidad de mineral económico y no económico puede ser muy grande; sin embargo, durante el curso del estudio deberá demostrarse la

existencia de tonelaje específico más allá de toda duda antes de emprender una inversión económica de consideración; ésta demostración puede exigir sondeos directos u otros métodos de acuerdo a las guías geológicas encontradas. Los estudios geológicos servirán para determinar la paragénesis de la mineralización, y para determinar la naturaleza del terreno en lo que estructuralmente pueda afectar la selección del método minero de explotación; asimismo es necesario resolver problemas más complejos y por ende fundamentales, como la evaluación de reservas, la estimación de costos y las pruebas metalúrgicas.

1. -GENERALIDADES

La Herradura se encuentra a 100Km. en línea recta al NW de Caborca y a 260 Km. de Hermosillo, en el estado de Sonora, México.

Se ubica en los linderos de los ejidos Juan Álvarez y Cerro de la Herradura, Municipio de Caborca, de coordenada geográfica 112° 51' 16'' longitud oeste y 31° 09' 02'' latitud norte.

Tiene dos vías de comunicación terrestre, la carretera estatal No. 18 Caborca-Puerto Peñasco; 100 Km pavimentados y 20 Km. de terracería; la segunda vía es la carretera federal internacional No. 2 Hermosillo-Santa Ana-Mexicali-Tijuana, 84 Km. pavimentados hasta llegar al entronque que comunica al ejido Juan Álvarez, con un recorrido de 34 Km. de terracería hasta la Herradura.

En el yacimiento de la Herradura se realiza una explotación a tajo abierto y beneficio de mineral, con el método de lixiviación en montones con soluciones de bajas concentraciones de cianuro de sodio. Se tiene una capacidad de trituración de 20,000 ton de material por día de la zona del tajo. El oro se obtiene por lixiviación en montones por medio de solución de bajas concentraciones de cianuro de sodio, con el proceso Merrill Crowe de 750 m3 de solución por hora, y la de fundición de 800 Kg. por colada de 5 a 6 horas de duración.

Electricidad: La energía eléctrica se obtiene de la subestación de Comisión Federal de Electricidad, que se encuentra en la estación Sahuaro a 13.4 Km, al SW, de la cual parte una línea con capacidad de 230 Kv a Puerto Peñasco.

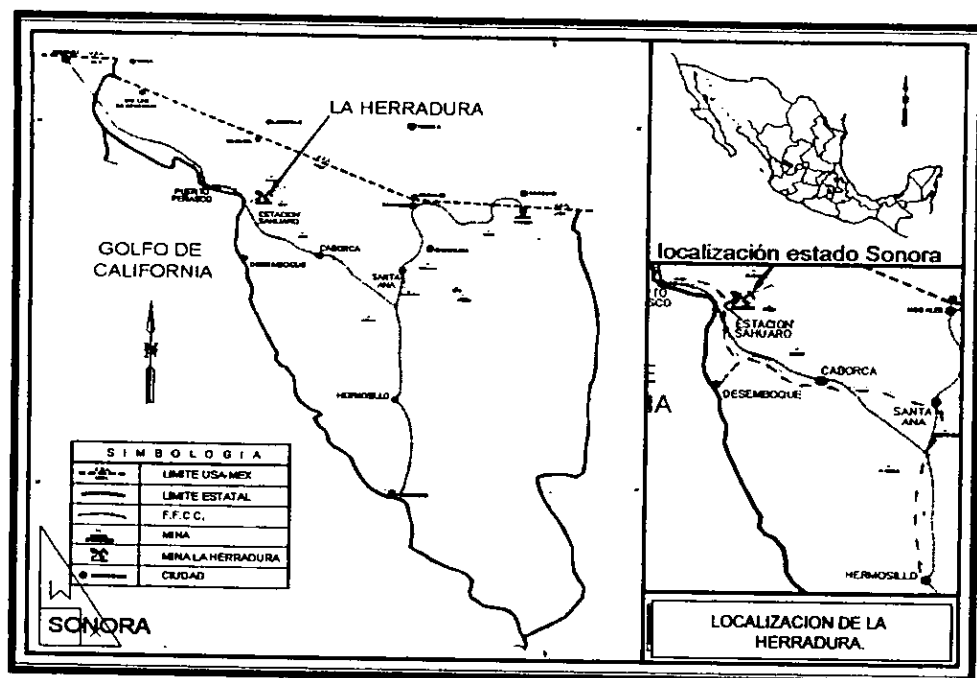
Agua: Es extraída del subsuelo por medio de pozos. La toma de agua se realiza de los pozos Oviedo y Juan Álvarez. 480 m³ al año y 460 m³ respectivamente.

Clima seco, lluvia escasa, con temperatura promedio la mínima de -5 °C en enero y la máxima de 55°C en julio.

El suelo es arenoso, clasificado como fluvisol.

Flora y Fauna: Variedad de cactáceas como el palo verde, palo fierro sahuaro, sinita, choyas, pitaya, pitaya agria, viejitos (mamillarias), viznagas, sangregado, popotillo, cenizo, rama blanca; entre los animales se encuentran coyotes, berrendos, ratones, tortugas del desierto, víboras entre otros.

Mano de obra: No hay en la localidad, vienen de poblaciones cercanas.



Localización de la Herradura.

2. -GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente el yacimiento se localiza en la región del Desierto de Altar, donde ocurre una secuencia de rocas metamórficas que tectónicamente, están descritas como parte del Terreno Caborca. Algunos autores la describen dentro del Terreno Caborca, aunque ha sido ubicada en el Terreno Pápago.

El terreno Pápago comprende rocas del Jurásico Temprano e intrusivos que forman parte del arco jurásico continental, rocas sedimentarias de edad Paleozoica y rocas metamórficas del Proterozoico.

Las rocas metamórficas del proterozoico forman parte de la exposición del basamento del Terreno Pápago (Anderson y Silver, 1979)

De acuerdo a la clasificación de las provincias fisiográficas de la República Mexicana (Raisz, 1964); el distrito pertenece a la provincia Llanura Sonorense, que es parte de la subprovincia fisiográfica "Sierras y Llanuras Sonorenses".

Dos grandes eventos influyen en la geología de esta zona.

- 1) La Megacizalla Mojave-Sonora.
- 2) La abertura del Golfo de California.

La Mojave-Sonora Megashear o Megacizalla Mojave -Sonora del jurásico medio, tuvo un desplazamiento lateral en sentido izquierdo. Esta megacizalla dividió el cratón de Norteamérica lo que provocó una zona truncada de márgenes del Paleozoico y Mesozoico temprano a lo largo de la cual se formó el Arco Jurásico (Tostal et Al. 1993).

Tal Arco está formado por rocas volcánicas con afinidad química calcoalcalina. Aparentemente la actividad de esta megaestructura terminó a principios del Cretácico.

La abertura del Golfo de California fue ocasionada por el sistema de la Falla de San Andrés, la cual tiene un sentido de movimiento lateral dextral; que puso en contacto a las rocas paleozoicas sedimentarias con las rocas metamórficas que se observan en la Herradura.

Entre las dos grandes estructuras se distingue una forma de rombo o de diamante, éstas formas son típicas de los sistemas de fallas de corrimiento lateral, la cual fue internamente afectada por los esfuerzos cortantes cambiantes que dejaron al área estructuralmente preparada para la mineralización.

MARCO TECTÓNICO REGIONAL.

Como se menciona anteriormente, en esta región se observa la presencia de dos fases de deformación: la Mojave-Sonora Megashear y la Falla de San Andrés. La Megacizalla Mojave Sonora (Anderson y Silver, 1974) comprende desde el SW de Estados Unidos de Norteamérica y la parte NW de Sonora.

No se conoce la orientación exacta y la actitud estructural de la megacizalla, porque está cubierta de sedimentos y por fallamiento-fracturamiento estructural más joven (Anderson, Silver). No se conoce con exactitud como

fue el desplazamiento lateral y su magnitud a lo largo del sistema, pero se ha reconocido por la actividad intrusiva y la deformación presente en las rocas vulcanosedimentarias del jurásico. La Mojave-Sonora se manifiesta por la orientación de los afloramientos con rumbo N 30° W.

La Falla de San Andrés. Se extiende desde el sur de San Francisco pasa por el Salton Sea, California, USA, se proyecta más al sur dentro de México, donde bordea ambos márgenes del Golfo de California. Las estructuras relacionadas con el sistema de fallas San Andrés están presentes en dos formas una de rumbo N 55° W, y la otra de fallas transformes con orientación N 45° E.

La dirección de fallamiento donde se encuentra la Herradura se conoce desde la mina el Mesquite, que se encuentra en los límites de Arizona y California, EE.UU., la que se proyecta al sudoeste hasta Caborca, Sonora. Aproximadamente en 5.5 m.a; la triple unión de la placa de cocos y Norteamérica hacia la parte oriental, levantó y provocó un ambiente extensional que inicia la apertura del Golfo de California (Curry y Moore 1994).

ESTRATIGRAFÍA

Unidades Estratigráficas que afloran en el Desierto de Altar.

PRECÁMBRICO.

Constituido por rocas metamórficas que forman parte del basamento. Se pueden considerar dos unidades: la primera está formada por rocas con alto grado de metamorfismo: anfibolitas, gneisses y micaesquistos que muestran por lo menos dos fases de deformación, y la segunda unidad corresponde a

rocas plutónicas que afloran en la región. Se ha determinado una edad por correlación y radiometría entre 1749 - 1400 m.a.

PALEOZOICO.

Formado por rocas sedimentarias, que por su grado de deformación se han dividido en dos unidades. La primera son bancos de calizas, dolomías y areniscas visiblemente deformadas. La segunda unidad son rocas calcáreas, poco deformadas, donde se encontró coral, por lo cual se clasificó como Paleozoico Temprano (H. W. Flugel, op.cit). En la Herradura aflora en la parte sur o de las Dunas.

JURÁSICO.

Aflora una secuencia de rocas de un ambiente característico de secuencias de arcos magmáticos, con una variada litología, consiste en un complejo Vulcano sedimentario y magmático de metamorfismo de bajo grado. Estas rocas se agrupan como metavolcánicos y metasedimentos.

Metavolcánicos: Son rocas vulcanosedimentarias de bajo grado de metamorfismo. Se componen de meta-riolitas, meta-riodacitas, tobas de flujo de cenizas de afinidad cálcica, metapórfidos de emplazamiento subvolcánico y metandesitas de composición calco alcalina. Estas unidades afloran principalmente al NE de la Herradura, también se encuentran en la porción sur del Cerro Prieto (La Carina) y la región de Banco de Oro- Tajitos.

Metasedimentos: Son rocas metasedimentarias deformadas, con un grado de metamorfismo en facies de esquistos verde. Los metasedimentos están constituidos por Metalimolitas y Metareniscas calcáreas con intercalaciones de

metagrauvacas y metaconglomerados. Esta unidad aflora en la margen oriental y en la porción sur se encuentra cubierta por aluvión.

TERCIARIO

Son rocas volcánicas continentales, lavas y flujos de composición traquítica y andesítica. Afloran escasamente en una franja en la margen NE de la Herradura y subyacen a los basaltos cuaternarios. El batolito de Sonora también es edad terciaria

CUATERNARIO.

Formado por rocas volcánicas de composición basáltica, con un origen de emisión fisural asociada al volcanismo del complejo El Pinacate que a su vez, está relacionado con la Falla de San Andrés. Se ubica desde el norte de la Herradura hasta la región del Pinacate. Material de relleno aluvial con grandes zonas de dunas o arenas eólicas.

LITOLOGÍA

ERA	PERIODO	LITOLOGÍA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	ALUVION	MATERIAL DE RELLENO, FRAGMENTOS DE ROCA ANGULOSOS Y SUBREDONDEADOS
		ARENAS EOLICAS	FRAGMENTOS DE CUARZO Y ROCA, MAGNETITA >1%, SE LOCALIZA FORMANDO DUNAS, ESPESOR DE 25 cm a 55cm.
		GRAVAS Y ARENAS	HORIZONTES DE FRAGMENTOS DE ROCA, SUBANGULOSOS A SUBREDONDEADOS, PARCIALMENTE CONSOLIDADOS POR ARENA EOLICA
		GRAVAS	FRAGMENTOS DE ROCA, SUBANGULOSOS A SUBREDONDEADOS DE COMPOSICION VARIABLE, CEMENTADOS POR ARENA EOLICA Y CALICHE, PRESENCIA DE MAGNETITA, SE ENCUENTRAN FORMANDO HORIZONTES.
		ROCAS VOLCANICAS BASALTICAS	PRODUCTO DE EMISION FISURAL, ASOCIADO AL COMPLEJO EL PINACATE, FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASAS, HORNBLENDA, OLIVINO, BIOTITA, CUARZO, DIQUES BASALTICOS EN FORMA DE LENTES.
	TERCIARIO	ROCAS VOLCANICAS TRAUQUICAS ANDESITICAS	ROCAS PIROCLASTICAS CORRESPONDIENTES A LAVAS Y FLUJOS LOCALMENTE DE COMPOSICION TRAUQUICA Y ANDESITICA SUBYACEN A LOS BASALTOS CUATERNARIOS.
MESOZOICO	JURASICO	METASEDIMENTOS	CONGLOMERADOS, FRAGMENTOS DE ROCA DE 10cm A 15 cm DE ESPESOR, SUBREDONDEADOS A REDONDEADOS, CON ARENISCAS, LIMOLITAS, LUTITAS Y CALIZAS, METAMORFISMO EN FACIES DE ESQUISTOS VERDES, PRESENCIA DE CALCITA Y PIRITA.
		METAVOLCANICAS, ANDESITAS - RIOLITAS	ROCAS VULCANOSEDIMENTARIAS CON METAMORFISMO DE BAJO GRADO, ASOCIADAS A LA EVOLUCION DEL ARCO MAGMATICO. PRESENTA LENTES DE CUARZO DEFORMADOS.
PALEOZOICO	ORDOVICICO	CALIZAS, DOLOMIAS Y CUARCITAS	UNIDAD CALCAREA FOSILIFERA (CORALES DEL PALEOZOICO SUPERIOR) PRESENCIA DE CUARCITAS, ARENISCAS Y LENTES DE DOLOMIAS, METAMORFISMO DE BAJO GRADO, EN CONTACTO CON LOS GNEISS AL W DE LA HERRADURA.
PRECAMBRICO	PROTEROZOICO	PEGMATITAS	ROCA COLOR VERDE A BLANCO, TEXTURA PERITITICA, PRESENCIA DE FELDESPATOS, CUARZO, MUSCOVITA, BIOTITA Y CLORITA, ALTERACION SERICITICA.
		CATACLASITA CUARZOFELDESPATICA	ROCA DE COLOR PARDOS ROJIZO, TEXTURA DE GRANO FINO, MICROBRECHA LAMINAR, GRADACION A ESQUISTO MILONITICO, ALTERACION A CARBONATACION, PRESENCIA DE SERICITA, CUARZO Y PIRITA.
		GNEISS CUARZO-FELDESPATICO	ROCA DE COLOR PARDOS CLARO-OBSCURO, TEXTURA GRANOBlastica, EQUIGRANULAR DE MEDIO A FINO, ALTERACION CUARZO, SERICITA, HEMATITA, OXIDOS DE FIERRO SECUNDARIO, CUARZOFELDESPATOS, MICROCLINA, MUSCOVITA, EPIDOTA, CARBONATOS DE FIERRO (SIDERITA-ANKERITA), BIOTITA Y MAGNETITA.
		GNEISS CUARZO-FELDESPATICO DE BIOTITA	ROCA COLOR VERDE CLARO, PARDOS CLARO, PRESENTA ALINEAMIENTO ALTERNANTE EN BANDAS, GRANO MEDIO A FINO, TEXTURA EQUIGRANULAR, HEMATITA EN FRACTURAS, ILMENITA, HEMATITA, PIRITA, ALTERACION CUARZO-SERICITA-EPIDOTA.
		GNEISS DE BIOTITA Y CLORITA	ROCA COLOR VERDE OBSCURO A VERDE CLARO DE GRANO MEDIO A FINO, TEXTURA GRANOBlastica, HORNBLENDA, CARBONATOS DE FIERRO (SIDERITA-ANKERITA), CALCITA, MAGNETITA, PIRITA, ALTERACION DE CLORITIZACION-SERICITA-EPIDOTA.
		ESQUISTO CALCAREO HEMATIZADO	ROCA COLOR PARDOS ROJIZO, GRANO MEDIO A FINO, OXIDACION DEBIL, CARBONATOS DE FIERRO, SERICITA, CUARZO, OXIDOS DE FIERRO, HEMATITA, PIRITA Y MAGNETITA, ALTERACION DE CARBONATACION Y HEMATIZACION.
		ESQUISTO DE CLORITA	ROCA COLOR VERDE OBSCURO, GRANO MEDIO A FINO, TEXTURA FOLIADA, PRESENCIA DE MAGNETITA, SERICITA, CARBONATOS DE FIERRO, CALCITA, ALTERACION DE CLORITIZACION.

3.-GEOLOGÍA LOCAL.

La mayoría de las rocas de la Herradura son de edad precámbrica, están constituidas por gneisses de biotita cloritizado (Gqb) y cuarzo feldespático (Gqf). El esquisto está formado principalmente por feldespato, cuarzo y clorita (Sqv) y lateralmente oxidado a carbonatos de hierro (Sqc). Se cree que estas rocas tienen un origen de una fuente sedimentaria.

Hubo una actividad ígnea representada por diques doleríticos y pegmatitas que afectan a los gneisses, como parte de la etapa tardía de deformación.

Las rocas del basamento cristalino del proterozoico tienen un metamorfismo de facies de anfibolita; las rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico fueron sometidas a una múltiple deformación.

Hay un paquete de rocas metamórficas que se encuentra en contacto con rocas metasedimentarias y metavolcánicas del Jurásico por medio de una cizalla, esta cizalla está enclavada en cataclasitas y milonitas. Estas rocas se encuentran afectadas por diques de andesita del Terciario y de basaltos cuaternarios.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

En el noroeste de la Alucinación (cuarcitas paleozoicas) y al sudeste de la Herradura las zonas de cizallamiento son truncadas por fallas transformes en una dirección N 55° E, que ocasionan cambios locales en la geología. Localmente, estas fallas tienden a cambiar de dirección, de NE-SW a fallas de dirección E-W. En un bloque menor de 4 x 1.5 Km. ocurre un cuerpo lenticular con orientación N50°W de gneisses que comprende el área local de la Herradura. El bloque está limitado por dos zonas de cizalla que bordean a los gneisses.

Varias fallas dividen el área en 8 dominios estructurales, las fallas transformes E-NE cortan al lente en 4 segmentos y otras fallas postminerales de orientación N-NW dividen al área en otras 4.

Dominios Estructurales:

- 1). Centauro.
- 2). El Yaqui.
- 3). Dunas y 10 de Mayo.
- 4). Centauro Norte.
- 5). Cerro del Loco
- 6). Cerro Mayor
- 7). Cizalla la Herradura
- 8). La Herradura V.

La Herradura se considera que es afectada por la megacizalla Mojave-Sonora, ya que el movimiento lateral izquierdo indica que se encuentra afectada por esta estructura más que por la Falla de San Andrés. En los primeros estudios realizados se consideraba que el sistema de fallamiento formaba una estructura de flor positiva, donde se alojaban las principales zonas mineralizadas.

4.-YACIMIENTOS MINERALES

La mineralización de la Herradura es de tipo hidrotermal de mediana temperatura dentro de un ambiente metamórfico. La mineralogía y las alteraciones son producto de soluciones de baja sulfurización. La asociación típica consiste de cuarzo - sericita - albita, con cantidades accesorias de hematita especular, pirita oxidada, wulfenita, galena. En cantidades traza hay calcopirita oxidada, esfalerita, oro nativo y electrum.

La mineralización de oro se presenta en el gneiss cuarzofeldespático y en las cataclasitas. Controlada por estructuras resultado de un sistema tenso-compresión. Es característico que en las estructuras mineralizadas haya presencia de cuarzo, tanto en vetas, brechas o stockworks, en forma cristalina, masivo o blanco lechoso. También se encuentra hematita terrosa (como resultado de la oxidación de la pirita) o especularita.

Diferentes tipos de cuarzo presentes en el depósito.

	TIPOS DE CUARZO	
EN AUGEN GNEISS	ESTÉRIL	BANDEADO
CUARZO METAMÓRFICO	ESTÉRIL	MASAS COMPACTAS, BLANCO LECHOSO, BLANCO GRISÁCEO CON BANDAS DELGADAS DE CLORITA.
CUARZO DE PEGMATITAS		OCASIONALMENTE MINERALIZADO POR VETILLAS DE CUARZO HIDROTHERMAL INTRODUCIDO.
CUARZO DE VETA	ASOCIADO AL ORO	MASIVO O COMPACTO, CRISTALINO Y LECHOSO CON ÓXIDO DE HIERRO, SERICITA, POCA WULFENITA Y TRAZAS DE ALBITA Y CALCITA.
VETAS DE CARBONATOS ANKERITA-SIDERITA	ANOMALÍA BAJA EN ORO O ESTÉRIL	CON O SIN CUARZO Y ESCASA CALCITA

La mineralización está estructuralmente controlada, lo que significa que la mineralización se depositó en las fallas y fracturas. Las zonas mineralizadas tienen una orientación preferencial N 40° W con espesores de 50 a 150 m y longitudes de hasta 1 Km.

De los 8 dominios estructurales existentes en el yacimiento, 4 son los principales y se describen a continuación.

- 1) Área centauro.
- 2) Área El Yaqui.
- 3) Área Dunas-10 de Mayo.
- 4) Área Centauro Norte.

1) Área Centauro.

En esta zona se encuentra el cuerpo mineral principal, ya que contiene más del 80% de la mineralización económica de oro descubierta. Se localiza en el extremo sur del bloque y está limitada al norte por la Falla Centauro. Las estructuras mineralizadas tienen echados hacia el NE con inclinaciones entre 50° y 70°.

2) Área El Yaqui.

Ubicada en la parte oriental del bloque; limitada al norte por la falla 10 de Mayo y al sur por la Falla Centauro; dividida del área centauro al este por la falla Victoria y al oeste por la Falla Puerto Dorado y Catorce que es el límite con Centauro norte. Las estructuras mineralizadas tienen echados hacia el SW con inclinaciones entre 40° y 60°.

3) Área Dunas-10 de mayo.

Se encuentra en la parte occidente del bloque, limitada al norte por la Falla 10 de mayo y al sur por la Falla Centauro. Las estructuras tienen echados hacia el NE con inclinaciones entre 50° y 70°.

4) Área Centauro Norte.

Se ubica entre los cuerpos El Yaqui y Dunas-10 de Mayo, al norte del cuerpo Centauro. Los cuerpos mineralizados casi siempre son estrechos y divididos por gruesos espesores de roca estéril (gneiss de biotita y gneiss cuarzofeldespático de biotita).

Existe la presencia de electrum que puede ser primario y de oro que es resultado de una acreción supergénica durante la oxidación.



Vista del Tajo Centauro

ALTERACIONES

Los tipos más frecuentes de alteración presentes son la sericítica, carbonatación, propilitización, la argilización y en menor presencia la piritización.

Alteración sericítica:

La alteración sericítica en el gneiss cuarzo feldespático es el resultado de la circulación de fluidos hidrotermales. Los minerales dominantes de esta alteración son la sericita, cuarzo, piritita.

La sericita es el resultado de la alteración de plagioclasas, feldespato potásico y clorita, asociado a zonas silicificadas a los lados de vetas y stockworks.

Carbonatación:

Siderita-ankerita. Principalmente se observa cerca de las zonas de cizallas en asociación con el cuarzo. Hay presencia de siderita en los esquistos y en las cataclasitas.

Calcita. En el exterior del depósito se encuentran vetillas de calcita, que generalmente no contiene oro por lo que se asocia a material estéril.

Propilitización:

Clorita-epidota-calcita-piritita. La clorita que fue formada a partir de la biotita, está distribuida sobre los gneiss de biotita, gneiss cuarzofeldespáticos de biotita y esquistos de clorita; generalmente se utiliza para identificar las zonas estériles internas al sistema.

Argilización:

Cuarzo-caolinita-sericita. Hay una lixiviación de bases (álcalis y calcio) de todas las fases aluminosas como los feldespatos y las micas. La generación de alteración argílica avanzada puede ser importante para el desarrollo de alta permeabilidad necesaria para la circulación de grandes cantidades de fluidos hidrotermales y crecimiento de vetas.

Litológicamente el depósito de la Herradura se considera del tipo "encajonado en gneisses". Es un yacimiento estructuralmente controlado, por su ambiente tectónico y por su sistema de deformación, característico de los terrenos extensionales con fallamiento asociado de desplazamiento a rumbo.

Es un yacimiento de tipo hidrotermal de mediana temperatura. Este modelo difiere de los típicos hidrotermales de baja temperatura por el tipo de cuarzo, las texturas de las vetas, la mineralogía, la alteración y los elementos traza.

5.-CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA SUPERFICIAL.

Desde el inicio del proyecto se realizaron varios trabajos de cartografía a diferentes escalas; desde trabajos en zonas potenciales hasta reconocimientos en áreas específicas a través del cuerpo mineralizado en ambas direcciones.

Se realizaron muestreos de superficie, esquirlas de roca, también se realizaron muestreos de canal y de zanjas realizados con tractor para pruebas metalúrgicas.

La actividad de los mapeos es importante ya que permite comprobar y hacer ciertas modificaciones al modelo geológico preestablecido y generar programas de exploración con base al mismo modelo. También es muy importante porque ayuda a generar más reservas de la mina y a tener un mejor control de la ley de ésta. El departamento de control mineral se apoya en esta actividad del ingeniero geólogo para delimitar polígonos de mineral y definir polígonos de alta ley. También se beneficia con el mapeo geológico, porque se facilita la operación para definir vetas y stockwork y preparar los cuerpos mineralizados para su eventual explotación y también para los análisis estructurales para diseño de taludes.

Se realizaron estudios geoquímicos inicialmente de orientación. Posteriormente se efectuó geoquímica a semidetalle y a detalle, como el estudio por muestreo de alteraciones (cuarzo-sericita) y vetillas de cuarzo y carbonatos. Los estudios geoquímicos de orientación, se basaron en el muestreo de vegetación (biogeoquímica, gobernadora y palo verde), recolección de vapores de mercurio

en suelos, muestreo de alteración y vetillas de carbonatos y muestreo de suelos para la lixiviación por enzimas.

Se realizaron estudios y levantamientos de geofísica a nivel local y regional, terrestre y aérea, con avión y helicóptero. Los estudios más relevantes fueron: VLF y magnetometría local, magnetometría aérea y terrestre, estos estudios fueron para detectar las estructuras de cuarzo (vetas) y otros elementos estructurales. Radiometría aérea, gravimetría, para detectar el basamento rocoso principalmente y polarización inducida y resistividad con objetivos geohidrológicos.

6. SISTEMA DE MUESTREO Y EVALUACIÓN DE RESERVAS.

Uno de los estudios de muestreo para determinar la desviación estándar expresada en porcentaje entre dos muestras obtenidas a partir de un mismo barreno, sirve para obtener una mejora en el muestreo y así garantizar un buen resultado. Un porcentaje de desviación menor a 16% se considera confiable.

La cantidad de muestra tomada es de 10 Kg, y se obtiene en forma radial a partir de un punto del material acumulado en el barreno. Para obtener mayor representatividad se toma una muestra a partir de dos puntos, en cada punto se recolectan 5 Kg. para completar los 10 Kg. requeridos

METODOLOGÍA.

Pasos de muestreo en Laboratorio.

- 1) Recepción de muestra: La muestra se transporta en bolsas de plástico de la mina al laboratorio. La muestra es vertida en charolas metálicas de 30 x 30 x 5 cm de altura; con todo y su identificación.

Primeramente la muestra es secada en un horno eléctrico marca Griver, con capacidad para 70 muestras, el tiempo de secado es de 4 horas, a una temperatura de 100° a 110 °C, posteriormente se emplea media hora para enfriar la muestra.

- 2) Quebrado: Una vez seca la muestra pasa por una quebradora de quijada marca Mercy 4 x 6, con el objeto de reducir el tamaño de 3/4 a - 1/4 el 100%, posteriormente se homogeneiza la muestra. Cuando la muestra se encuentra quebrada, pasa por un separador Jons con el objetivo de reducir su volumen de peso al 50% aproximadamente 5 Kg, el resto se deposita en bolsas y se considera como rechazo. Los 5 Kg seleccionados pasan por una

quebradora de rodillos 9 x 12 donde se reduce a un tamaño de 10 mallas el 100%. Enseguida es nuevamente homogenizada y pasa a una segunda etapa de separación, esta actividad es realizada en un cuarteador marca Gilson, con opciones de 50% (1/2), 25% (1/4) y 12.5% (1/8), se pone a 1/8 para seleccionar entre 1000 y 700 gr. de la muestra quebrada.

3) Pulverizado: Hay dos pulverizadoras marca Mixer mill 2000, con discos de fricción y oscilatorios lo que impide laminación del oro. Durante 3 minutos el total de la muestra (de 1000 y 700 gr) es homogenizada y el 100% se reduce a -150 mallas, con espátula se toma una cantidad aproximada de 250 gr. se guarda en un sobre para muestras y se identifica.

4) Fundición Vía Seca: Para el proceso de fundición se mezclan en crisoles de barro 30 gr de muestra con 50 gr de reactivo más 8 ml de nitrato de plata. La mixtura o reactivo se prepara con 60% de litargirio (sales de plomo), 25% de carbonato de sodio y 15% de bórax.

Hay tres hornos eléctricos marca DFC, con una capacidad de 48 crisoles cada uno. Cuentan con un controlador de temperatura digital, con rangos de temperatura entre los 500°C y los 1200°C, una vez mezclado el reactivo con la muestra, se coloca dentro del horno, a una temperatura de 980 °C, el proceso de fusión dura aproximadamente 45 minutos. Se obtiene posteriormente un payon de plomo (botón donde se tienen encapsulados los valores de oro y plata). El payon se limpia y se coloca en una copela (ceniza de hueso y cemento). Enseguida las copelas se meten al horno de copelación marca DFC, a una temperatura aproximada de 900 °C, en este proceso se volatiliza el plomo, quedando únicamente el botón DORE.

5) Vía Húmeda o Dilusión: El DORE es limpiado y se coloca en un tubo de ensaye, se agregan 4 ml. de ácido nítrico, de esta forma comienza la

disolución de valores de oro, el tubo es colocado en el equipo denominado shakin-bag para realizar un baño María (15 minutos a 60°C), posteriormente se agrega 1 ml de ácido clorhídrico, esto con el objetivo de precipitar la plata. Así el oro queda en solución.

- 6) Absorción Atómica: La muestra se lleva al área de absorción atómica con el objetivo de detectar el contenido de oro en la solución, este procedimiento se realiza con un equipo Espectra Varían 220, con rangos de detección de partes por millón y billón. El contenido de oro es registrado en formato y enviado al departamento de Ore Control (Control del Depósito). Cuando el valor de la muestra está por arriba de 0.4 g/t de oro se realiza ensaye por el elemento plata, con la técnica por absorción atómica. Si una muestra de oro es mayor a 1.5 g/t (overs), el ensaye se realiza por el método gravimétrico.

Actualmente el laboratorio de la Herradura cuenta con una capacidad para preparar 250 muestras por día. Y se pueden ensayar los siguientes elementos: oro, plata, fierro, cobre, mercurio, plomo y zinc.

EVALUACIÓN DE RESERVAS:

El propósito fundamental del cálculo de reservas de un yacimiento consiste, en determinar la cantidad de mineral presente y la factibilidad de realizar la explotación comercial de dichos minerales metálicos y no metálicos. Este tipo de cálculos se realizan durante toda la vida productiva de la mina, comenzando desde la etapa de prospección preliminar hasta el final de su actividad comercial o hasta el agotamiento de las reservas contenidas en el depósito.

Una explotación eficiente y productiva sería imposible sin la ayuda de un cálculo preciso. También es importante conocer la potencialidad del yacimiento para determinar el límite de las exploraciones y desarrollos geológicos; la distribución de los valores dentro del cuerpo; el tipo de tratamiento metalúrgico a que deberán ser sometidos éstos; el tamaño y tipo de equipo que deberá instalar en la mina y en la concentradora; el ritmo de producción diaria; la producción global anual; la estimación de la vida activa de la mina; el método minero de explotación; los requerimientos de capital y financiamiento; los requerimientos de energía, mano de obra, materiales, agua, etc.

El resultado del cálculo de reservas se emplea como un valioso auxiliar en el departamento de planeación para determinar los costos de producción, estimar la eficiencia de la operación y las pérdidas de minado (índices de recuperación); para el control de calidad de los productos; para el financiamiento de otros proyectos; para la venta de productos; para la compra de materiales y equipos, y para la consolidación financiera de la empresa, incluyendo en este último renglón, los rubros de contabilidad e impuestos.

Para proceder con el cálculo de reservas de un depósito mineral (reducido y distorsionado por el mapeo) es conveniente convertirlo a un cuerpo geométrico análogo, compuesto por uno o varios bloques, de tal forma que expresen lo mejor posible el tamaño, la forma y la distribución de las variables. La construcción de estos bloques dependerá del método de estimación que se seleccione. Algunos sistemas ofrecen más de una forma de construir los bloques, lo que está sujeto a la subjetividad; en cuyo caso, una manera

apropiada y aceptada será aquella en que preferentemente se tomen como base, factores geológicos, mineros y económicos.

La elaboración de geosegmentos duros (*) en ore control antes de la liberación de polígonos da como resultado una mayor selectividad en la determinación y construcción de los polígonos de mineral y por consecuencia una ley más representativa.

El modelo de blocks fue realizado con el kriging indicativo y valor para el factor "k" o grado de selectividad fue 0.4 (revaluando el yacimiento se ha llegado a un $k=0.1$). La selectividad de un yacimiento mineral está en función de las características específicas del depósito. Por tanto el grado de aproximación de la ley real contra el modelo esta supeditado a la forma y distribución espacial de las partículas de oro en el yacimiento.

(*) Geosegmento duro: es una barrera que separa lo que es el mineral de lo que es el tepetate, esto con el fin de obtener una mejor selectividad del mineral.

Hay un software que es el ore control y el miner. Estos programas se utilizan en la explotación a cielo abierto.

El ore control diferencia el mineral del tepetate, mientras que el miner sirve para planear a mediano y largo plazo. Se realiza la planeación con base en el modelo geológico de reservas probadas, probables e inferidas.

Los puntos que ore control da, son barrenos previamente identificados. Una vez marcados por topografía los barrenos, se procede a levantarlos topográficamente para conocer la ubicación de los barrenos dados por la rotaria; son levantados con estación total Leica TC-1100 y TC-1103; los testigos de rocas son muestreados por los geólogos y envían las muestras al laboratorio donde son ensayadas por absorción atómica; los resultados son

enviados vía red al departamento de planeación el cual los recibe y los cambia de formato para cargarlos en el equipo de cómputo (silicon graphics) para asignar a cada barreno su ley en gr/ton.

El ore control tiene información geológica previamente cargada; la altura de los bancos y las densidades de los diferentes tipos de roca (roca, aluvión, arenas) con zonas de diferentes colores, donde cada color indica de acuerdo al código de colores la ley de cada zona, con este se sabe si es mineral de alta o baja ley o si es tepetate.

En este programa se trazan polígonos en los diferentes bancos de trabajo, al procesar esta información se obtiene el tonelaje y ley promedio del polígono. Una vez que se acepta este polígono se procede a definir los vértices del polígono, ya definidos el programa automáticamente proporciona la localización de cada vértice; esta información se les da a los topógrafos para replantear los puntos en el terreno correspondiente con la estación total; ellos ponen estacas con banderines de color rojo en los polígonos de mineral y banderines azules para encerrar polígonos de tepetate, y verde en los polígonos de baja ley. Para que el operador del cargador identifique al momento de rezagar y de la señal al camión para indicarle si va a los patios o a la tepetatera.

El mineral con una ley mayor de 0.35 gr/ton es enviado a los patios de lixiviación y el mineral de 0.20-0.35 gr/ton es enviado al stock de baja ley y el mineral menor de 0.20 es enviado a la tepetatera.

7.- PROGRAMA DE EXPLORACIÓN.

El programa de exploración de La Herradura se desarrolló en cinco fases de barrenación. Se utilizaron diferentes métodos de perforación, como circulación inversa (CI), tanto en húmedo como en seco, y barrenación con diamante (BDD). Cada uno tenía propósitos específicos.

1) Barrenación CI, primera fase de prueba del modelo conceptual y para descubrimiento del mineral.

2) Barrenación BDD y CI de validación del modelo y muestreo.

3) Barrenación CI de dimensionamiento y confirmación del yacimiento.

4) Barrenación CI y BDD paramétrica y segunda validación del modelo y el muestreo.

5) Barrenación CI de evaluación de reservas y prefactibilidad. La prefactibilidad incluyó varios barrenos BDD para pruebas metalúrgicas y para mecánica de rocas.

Los resultados de los ensayos y el estudio litológico de los barrenos sirvieron como base de datos para efectuar la interpretación geológica y el modelo del yacimiento. También es la única base para realizar el cálculo de reservas del proyecto.

BARRENACIÓN TOTAL REALIZADA EN EL PROYECTO LA HERRADURA.

TIPO	OBJETIVO	METROS	BARRENOS
CI	EXPLORACIÓN	88,937.97	412
BDD	EXPLORACIÓN	9,935.85	45
CI	ESTERILIZACIÓN	2,271.32	15
BDD	METALÚRGICOS	1,104.45	4
BDD	ORIENTACIÓN	582.27	2

Tipos de Barrenación.

Se utiliza la Barrenación de circulación inversa (CI) y la Barrenación de diamante (BDD).

CI es utilizada en depósitos de oro con leyes bajas y grandes tonelajes, tiene un costo bajo de aproximadamente 25 dólares por metro.

BDD útiles para la comprobación de estructuras, análisis de peso específico, estudios geotécnicos para diseño de taludes y pruebas metalúrgicas. Los barrenos de diamante son realizados después de 100 barrenos de circulación inversa, interpretación y modelo de blocks para definir el tajo; después de esto se define una ubicación estratégica de los barrenos.

Durante el proceso de barrenación, se realiza el estudio de muestras cada 2 metros, se elabora un reporte, en el cual se explica el tipo de roca y las calidades del mineral. Este reporte pasa a un programa de computadora en el cual se marca la litología, la dirección del barreno, la profundidad e indica las leyes que contiene.

La realización de Barrenos de exploración es muy importante, porque se buscan zonas mineralizadas para aumentar las reservas.

La exploración en una unidad no se detiene nunca, se debe incrementar la "vida" de la mina. El programa de exploración es para comprobar la continuidad de los cuerpos mineralizados que se están explotando y tener la densidad de barrenación suficiente. Para llegar a una posible extensión de los tajos.

El primer objetivo es comprobar la continuidad de los cuerpos, de ser positiva se realiza una segunda etapa para lograr una densidad de información que permita ubicar el material. Se proporciona un presupuesto de exploración.

La barrenación de exploración se realiza cada año y el tiempo de duración aproximado es de 4 a 5 meses.

Los barrenos tienen una profundidad más o menos de 300 m. y un diámetro de 5 1/2 pulgadas.

La barrenación se realiza con una máquina de circulación inversa, con broca tricónica (center return tricone) o con martillo de recuperación por la cara (marca DIGGER, SAMPLEX). Cuando es necesario se realizan pruebas de medidas de inclinación y dirección, éstas se realizan con un tropari, porta tropari y barras de aluminio.

8. - ANEXO.

VOLADURAS

- 1) Recepción de material: En el área de polvorines, se encuentran 3 almacenes; en uno se guardan todo tipo de iniciadores, el segundo sirve para el almacenado de nitrato de amonio y un tercero donde son guardados los anfos y altos explosivos.
- 2) Cargado de Camiones y Mezcladores: Hay dos camiones mezcladores con capacidad de tres toneladas, los cuales tienen la tarea de producir anfo, ya que al momento de la descarga del material se produce la mezcla de nitrato de amonio y diesel.
- 3) Traslado del material explosivo al Tajo: Se usa el principio de compatibilidad de los materiales explosivos. Por ningún motivo son transportados los iniciadores con los explosivos.
- 4) Censado de Barrenos: Es la verificación de la profundidad del barreno. Debe ser la altura del banco más la sub barrenación que son 6.7m. Si hay diferencia topográfica se ajusta la altura del barreno.
- 5) Distribución de iniciadores y altos explosivos: Una vez que se tiene este material es distribuido barreno por barreno de acuerdo al croquis de patrón a barrenar.
- 6) Cebado: es la operación de insertar el fulminante en el alto explosivo.
- 7) Cargado de Barrenos: se baja el cebo al fondo del barreno y se agrega el agente explosivo.
- 8) Tapado de Barrenos: Rellenar el barreno con el detritus de la barrenación.

- 9) **Amarre y Conexiones:** Una vez cargado se procede a efectuar el amarre con cordón donde hay líneas troncales que se interconectan con retardos de sup.
- 10) **Disparo de voladuras:** Concluido el cargado y amarre se dispara. Los accesos son cerrados y existe comunicación con control vehicular para evitar el acceso. Se utiliza una mecha de 2m. que tarda 4 minutos 40 segundos en explotar. Por último se verifica que ningún barreno haya quedado sin explotar.

Los explosivos usados son:

- **Altos explosivos.**
 - a) detonadores de alta presión (busters)
 - b) anfos empacados (mezcla de nitrato de amonio y diesel)
- **Cordones detonantes**
 - a) detacor
- **Iniciadores**
 - a) Fulminante #6
 - b) Noneles MS 30 pies de largo
- **Conductores**
 - a) mecha de seguridad



Vista de una Voladura, en el Tajo Centauro

ECOLOGÍA.

Uno de los principales objetivos en "La Herradura" es preservar y mantener el entorno ecológico.

Desde el inicio del proyecto se realizaron estudios de impacto ambiental; estos estudios de riesgo fueron avalados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y por la SEMARNAP.

Se realizó la actividad de extracción y replante. Se ubicaron dos zonas favorables para el replante (Oasis y Choyal), éstas tienen las características naturales semejantes.

El replante se realizó de febrero a abril de 1997.

Se replantaron 12241 especies.

385 sahuaros

5623 sinitas

309 palo verde

1309 viznagas

2939 viejitos

1361 equinocactus

87 pitayas agrias

88 pitayas

Por lo que respecta a la fauna también se tuvo especial cuidado en la conservación de especies, al conservar su hábitat natural. El berrendo sonorense, es un mamífero en peligro de extinción, por lo que se tuvo bastante cuidado en no dañar a la especie. Los berrendos fueron ubicados y contabilizados para tener un mayor control.

La basura es reciclada, con esto se tiene un mejor control de los desechos.



PATIOS DE LIXIVIACIÓN.

Para su construcción se tomaron medidas de precaución. La parte inferior fue compactada con arcilla al 95%, para evitar contaminación por cianuro, se colocó una capa de hule con pruebas de fusión y corte, con un desnivel del 1%.

MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

Aceites, mangueras, filtros y otros materiales son confinados temporalmente para después ser transportados a uno definitivo.

El aceite es destruido al ser mezclado con el diesel y el nitrato de amonio, que es la mezcla explosiva. El aceite se destruye a 500° C y la temperatura que se alcanza en la voladura es de 700° C.

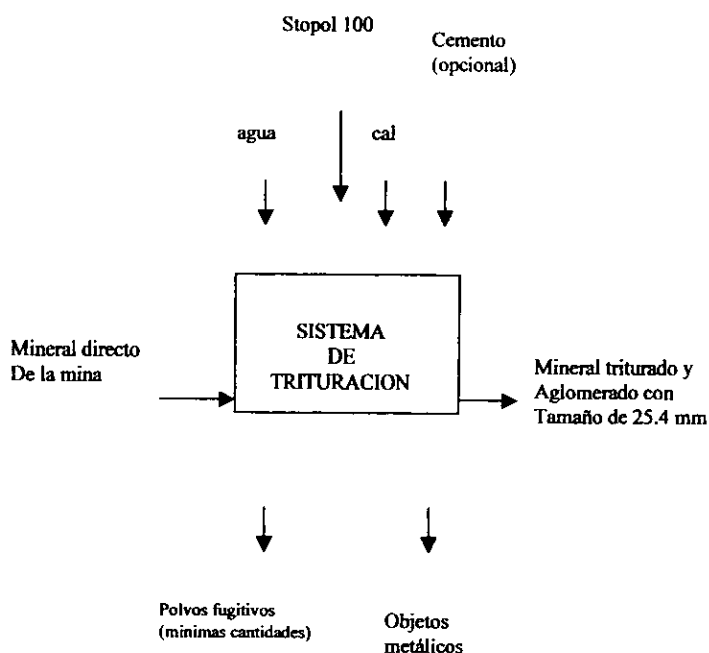
ÁREA DE PLANTA. (LIXIVIACIÓN EN MONTONES)

SISTEMA DE TRITURACIÓN

La trituración se realiza a circuito abierto en dos etapas con una capacidad de 20000 ton/día. Aquí el mineral, proveniente de la mina, es reducido de tamaño.

En la primera etapa hay una reducción del mineral de 36 a 6 pulgadas, con una quebradora giratoria Svedala 42" x 64' y en la segunda la reducción es de 6" a 80% a 1", mediante dos quebradoras de cono Svedala H-8000. Una vez triturado el mineral es aglomerado mediante la adición de cal y cemento, luego se transporta a los patios de lixiviación.

Mediante la trituration del mineral se logra mayor recuperaci3n de los valores de Au y Ag, debido a que la reducci3n de tama1os permite que los valores contenidos en la roca sean liberados y al ser expuestos a la soluci3n cianurada se disuelvan con mayor facilidad, para despu3s recuperarlos en el sistema de recuperaci3n de valores.



El sistema de trituración se puede dividir en cuatro subsistemas funcionales:

- a) Subsistema de trituración primaria: El equipo con el que cuenta es una quebradora giratoria Allis Chalmers, un martillo hidráulico marca Teledyne, banda transportadora de 1.22 m de ancho por 89.027 m de longitud entre los centros de poleas y un alimentador de banda de 1.83 m de ancho por 9 m de longitud.
- b) Subsistema de trituración secundaria: Inicia con la recepción de mineral triturado a 114 mm de la quebradora primaria. Cuenta con alimentador vibratorio, transportador de banda, electroimán, 2 cribas vibratorias, tolva de alimentación, 2 trituradoras de cono, 2 bandas transportadoras de 1.22 x 20.75 m y básculas.
- c) Subsistema de aglomeración : Formado por una banda de 1.22 x 256 m. Dos silos, uno con almacenamiento de cal y el otro con almacenamiento de cemento.
- d) Subsistema de cargado de camiones.

PATIOS DE LIXIVIACION

El área de los patios es de 540000 m², ciclo de riego 60 días, área bajo riego 60000 m², flujo de riego 10 lt x hr x m², con una recuperación esperada de Au=68.5% y de Ag=35%

Las piletas están construidas por un terraplén compactada al 100%, con una pendiente del 1% hacia las piletas de escurrimiento, encima dos capas de arcilla de .30m compactadas al 95% - 100%, un layner negro con un espesor

aproximado de 3mm, posteriormente una capa de arena de 0.30m de espesor y finalmente 0.60m de filtro de grava de tamaño entre 2" a $\frac{1}{4}$ ".

El riego es cianuro (NaCN) en baja concentración de 80 a 120 PPM (gr/m^3), con un escurrimiento de 60 a 40 PPM.

La altura programada para los patios de lixiviación es de 100m con una altura de cada nivel o cada banco de 10m. La pendiente que se maneja para las rampa de los camiones es del 8%.

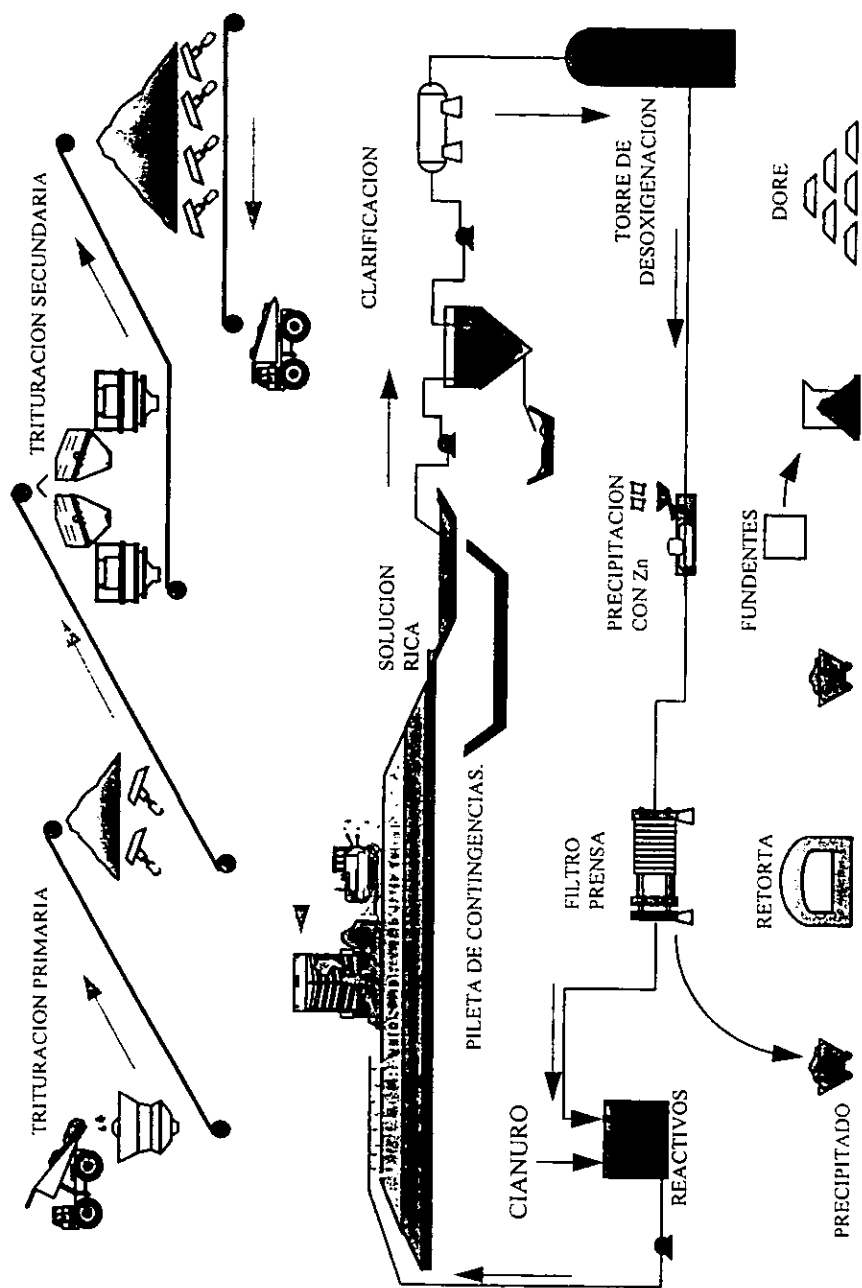
RECUPERACIÓN DE VALORES

Es mediante el Proceso MERRILL CROWE, con una capacidad de tratamiento de 750 m^3/hr , ley de precipitado del 25% y la Ley DORE $\text{Au}=30\%$ y $\text{Ag}=65\%$.

La clarificación (separación de los sólidos disueltos a la solución rica). Luego pasa a la Torre de desoxigenación. Se le da un proceso de precipitación con Zinc (la función del zinc es jalar el cianuro y dejar libre el Au).

Pasa al filtro de prensa, donde se obtiene el precipitado es llevado a la retorta, posteriormente se funde y se obtiene el DORE (lingote de Au y Ag). El Dore es llevado posteriormente a la Planta fundidora de Torreón (Met-Mex Peñoles), donde es separado el Au de la Ag.

Los reactivos utilizados son: Cianuro de Sodio 0.050 Kg/Ton , Cal 0.500 Kg/Ton , Anticrustante 0.010 Kg/Ton , Polvo Zinc 0.004 Kg/Ton .



ÁREA DE MINA

La mina opera con un programa de presupuesto mensual. Necesita tener una relación de descapote de 2.8 a 1 (relación de tepetate con el mineral)

A continuación se presenta un programa de tipo flexible para el tajo Centauro:

BENCH	CRUSH TONS	GRADE	GRAMS	ROM-TONS	GRADE	GRAMS	WASTE-TONS	STRE
38.00	3.000	0.476	2.000	25.000	0.266	7.000	3,347.000	0.000
408.00	37,381.000	0.661	24,719.000	36,927.000	0.263	9,702.000	94,741.000	1.270
402.00	53,937.000	0.739	39,864.000	46,068.000	0.272	12,533.000	123,423.000	1.230
90.00	205,455.000	0.943	193,801.000	103,449.000	0.270	27,981.000	208,603.000	0.680
84.00	153,228.000	1.040	159,317.000	75,172.000	0.273	20,557.000	154,222.000	0.680
Total	450,003.000	0.928	417,703.000	261,642.000	0.271	70,780.000	584,336.000	0.820

Esta tabla solo contempla el mineral a producir, y el movimiento total de material (mineral y tepetate) será de 1750000 ton.

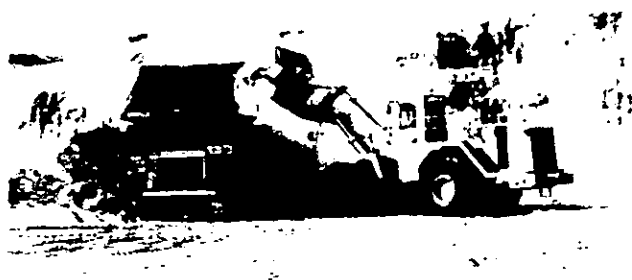
El área de mina cuenta con el siguiente equipo:

- 13 camiones 777D, marca CAT, Capacidad de 100 tons.
- 4 camiones 777B, marca CAT, capacidad de 90 tons.
- 4 perforadoras rotarias, Ingersoll-Rand, DM45.
- 2 motoconformadoras, modelo 14H.
- 5 cargadores neumáticos, Marca CAT, Modelo 992G.
- 3 tractores CAT, D-10.
- 1 tractor CAT, D-8.

- 2 Pipas de capacidad de 9000 gal.
- 1 pipa despachadora de diesel, cap. De 13,000 lts.
- 1 camioneta Ford Lobo, Modelo 1998
- 1 camioneta Ford Lobo, Modelo 1999
- 1 Van, marca Ford, modelo 1998.



o



9.- CONCLUSIONES

Litológicamente el depósito de la Herradura se considera del tipo "encajonado en gneisses"; es un yacimiento de oro estructuralmente controlado, alojado en un bloque de rocas metamórficas, limitado por estructuras de alto ángulo que le dan una forma lenticular.

Es un yacimiento de tipo hidrotermal de mediana temperatura que difiere de un hidrotermal de baja temperatura por el tipo de cuarzo, la textura de las vetas, la mineralogía, la alteración y los elementos traza.

Las zonas mineralizadas tienen una orientación preferencial N 40° W con espesores de 50 a 150 m. y longitud de hasta 1 Km.

La mineralización se aloja principalmente en el gneiss cuarzofeldespático y las cataclasitas. De edad precámbrica.

Gneiss Cuarzofeldespático: Roca color pardo clarooscuro, con textura granoblástica, equigranular de medio a fino. Alteración cuarzo, sericita, hematita, con foliación en el cuarzo de segregación, óxidos de hierro secundario, cuarzofeldespatos, microclina, muscovita, epidota, carbonatos de hierro (siderita-ankerita), biotita y magnetita.

Cataclasita: Roca color pardo rojizo, textura de grano fino, microbrecha, laminar-gradación a esquisto milonítico, alteración de carbonatación, presencia de sericita, cuarzo y pirita.

Controlada por estructuras mineralizadas donde hay presencia de cuarzo en brechas, vetas y stockworks.

La mineralización primaria de oro se asoció con pirita en el cuarzo. Los minerales de alteración asociados a la mineralización primaria pueden ser la sericita y la albita. En ocasiones en el cuarzo se observa galena y rara vez esfalerita y calcopirita.

Entre los productos de oxidación notables asociados al oro están la hematita y la wulfenita y en menor porción la anglesita.

La zona mineralizada más importante y rica del yacimiento se encuentra en la porción sur del cuerpo Centauro y a profundidad, debajo del nivel 50. Contiene tanto oro fino diseminado como oro grueso macroscópico.

En los barrenos de diamante, las leyes altas no siempre coinciden con vetas y stockworks de cuarzo obvios, sino que también se encuentran en zonas tectonizadas sin presencia aparente de cuarzo, lo que puede interpretarse que las estructuras mineralizadas sufrieron movimiento posterior.

No es fácil la determinación de la tendencia en el rumbo y la inclinación de los cuerpos mineralizados ya que el depósito está oculto. La interpretación de los cuerpos se realiza correlacionando rocas, alteraciones, estructuras e intervalos mineralizados.

El único elemento explotable es el oro, con plata como subproducto. Las leyes económicas de oro se concentran dentro de las zonas de vetilleo de cuarzo con sericita, formando halos, de espesor considerable en sus límites.

BIBLIOGRAFÍA

Busche Frederick. "Using Plants as an Exploration tool for gold"
Journal of Geochemical Exploration, 32 (1989) 199-209. Elsevier Science
Publishers B.V; Amsterdam.

Cendejas Cruz y Peña Leal. "Geología y yacimientos minerales de la Carta
Hermosillo, estado de Sonora"

Cepeda Leovigildo: "Apuntes de Yacimientos Minerales"; Universidad Nacional
Autónoma de México. F.I. Departamento de Geología.

Jaques Ayala, César and Pérez Segura Efrén: "Studies of Sonoran Geology"
Special Paper 254, 1991. The Geological Society of America, Instituto de
Geología, UNAM, Sonora. México

Leach Brad. "Una Guía de Geomodel". Febrero 2000. Minera Penmont.

Saénz Héctor; Tirado Rubén. "Muestreo de Barrenos de Producción de Mina"
Minera Penmont S.A de C.V, Proyecto La Herradura.

Pitard Francis, "Study of the Heterogeneity of Gold in the Penmont's
Project". Agosto 1994. Minera Penmont y Exploraciones Peñoles S.A de C.V.

Roldán-Quintana, "Evolución Tectónica del Estado de Sonora", Universidad
Nacional Autónoma de México, Revista, vol 5, num 2 1998.

Tosdal Richard M.; Eppinger Robert; Pitikin Erdan, Hanna and Kreidler Terry
"Mineral Resources of the Cactus Plain and East Cactus Plain Wilderness Study
Areas, La Paz County, Arizona". U.S Geological Survey Bulletin 1704.

Informes Inéditos de la Compañía Minera Penmont S.A de C.V., realizados
entre el año de 1993 y 2000.

- Litología y Alteración del Yacimiento La Herradura, Caborca, Sonora.
- Geological study of la Herradura, Sonora, México: A Structurally
controlled disseminated Au Prospect. (1993)
- Structural Analysis of La Herradura Project, Caborca, Sonora.
- Review of drill cuttings sample handling procedure at La Herradura
Project. Sonora, México. (1993)
- Proyecto La Herradura, Reservas y recursos de mineral (1995)
- Estudio de Heterogeneidad para mineral de oro Tajo Centauro (2000)
- Análisis de datos aeromagnéticos del prospecto La Herradura.
- Herradura Mineralogic correlations and distributions. (1995)
- Newmont Gold Company, Servicios Industriales Peñoles S.A de C.V . "La
Herradura Gold Project Summary pre-feasibility Report". Mayo 1996