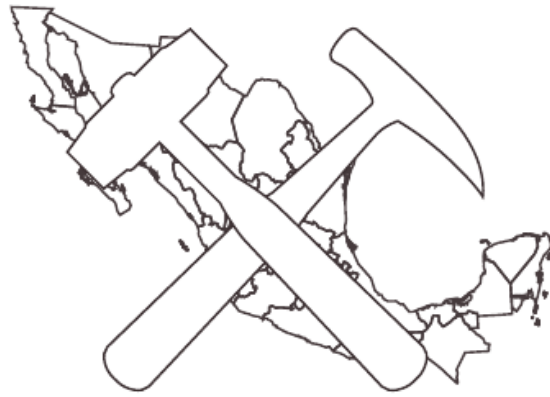


Geología Económica de México



Editado por:

KENNETH F. CLARK
GUILLERMO A. SALAS-PIZÁ
RODOLFO CUBILLAS-ESTRADA



GEOLOGIA ECONOMICA DE MEXICO

Segunda Edición 2009

DR © 2009 Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México

Av. Del Parque No. 54 Col Nápoles, México, D.F.

Servicio Geológico Mexicano

Carretera México-Pachuca s/n km. 93.5

Derechos del autor propiedad

Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México y Servicio Geológico Mexicano

ISBN 978-607-95292-1-5

Impresión:

Tegra Color

Enrique Rebsamen 322, Col. Narvarte

C.P. 03020 México D.F.

Geología y mineralización del yacimiento de hierro La Perla, Chihuahua

RODOLFO CORONA-ESQUIVEL¹⁻², MARCOS ESCUDERO-CHÁVEZ³,
FERNANDO HENRÍQUEZ⁴, JORDI TRITLLA⁵, AZUCENA MORALES-ISUNZA¹,
MARCO ANTONIO RAMÍREZ-LARA⁶, SERGIO RODRÍGUEZ-ELIZARRARÁS¹

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

² Escuela Superior de ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional

³ Grupo Acerero del Norte, Unidad La Perla, Chihuahua

⁴ Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería en Minas

⁵ Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Querétaro

⁶ Consultor, Chihuahua, Chih.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento de La Perla en el estado de Chihuahua, es uno de los tres depósitos de hierro más importantes del norte de México y ha abastecido a la industria siderúrgica por más de 50 años. Este yacimiento se ubica en la región norte de México, caracterizados por encontrarse asociados a secuencias de rocas volcánicas félsicas del Terciario. Actualmente surte aproximadamente el 5% del mineral de hierro para la industria siderúrgica nacional.

En cuanto a su origen, el yacimiento ha sido relacionado principalmente con procesos magmáticos asociados al volcanismo del norte del país, sin embargo también se le ha asociado con procesos hidrotermales. En el presente trabajo se describe de manera general la estratigrafía y la tectónica regional así como la estructura, texturas y composición mineralógica del yacimiento. Asimismo, se menciona el método de explotación y los procesos de beneficio del mineral.

LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El yacimiento La Perla se localiza en la parte oriental del estado de Chihuahua (Figura 1), en el municipio de Camargo en el rancho Tacubaya. Sus coordenadas geográficas son 28°18'51" N y 104°33'46" W y su altitud es de 1558 m sobre el nivel del mar. La vía de acceso para llegar a la mina es por la carretera No. 345 Camargo–Ojinaga. En el km 96 se localiza la desviación de terracería de un kilómetro que llega a la mina, siguiendo por la carretera antes mencionada, se recorren 140 km más para llegar a la población de Ojinaga ubicada en la frontera con los Estados Unidos.

ESTUDIOS PREVIOS Y TRABAJOS DE MINERÍA

El yacimiento La Perla fue conocido desde principios del siglo pasado, pero no fue hasta 1937 que se denunció por parte de la Cía. La Consolidada, S.A., iniciándose los primeros estudios de exploración geológica y geofísica en la región.

En el año 1941 el Banco de México empezó una serie de estudios geológicos, dentro de los cuales quedó incluido el yacimiento La Perla, estos resultados fueron publicados cinco años después (Torón-Villegas y Esteve-Torres, 1946). En este trabajo los autores describen con detalle las obras hasta entonces realizadas, consistentes en socavones, inclinados y zanjas. Asimismo, reportaron la presencia de cuerpos principalmente de hematita y mineral pulverulento. Las reservas calculadas por ellos fueron las siguientes: mineral a la vista

4,678,762 t, mineral probable 2,778,760 t y mineral posible 1,638,000 t, las que hacen un total de 9,095,512 t.

En el año 1951, la Compañía La Consolidada inició propiamente la exploración del yacimiento por medio de diversos sondeos, y cuantificó 47.7 millones de toneladas de mineral. Posteriormente en el año 1953, la Compañía Minera del Norte, S.A., titular de las concesiones para la explotación de los yacimientos de hierro de La Perla y La Negra, realizó una fuerte inversión en estudios de superficie y barrenación de diamante con el fin de comprobar el volumen de estos depósitos.

En 1957 el yacimiento fue adquirido por Altos Hornos de México S.A. (AHMSA) quedando bajo la razón social de "La Perla Minas de Fierro, S.A. de C.V." como subsidiaria de AHMSA. La Perla Minas de Fierro llevó a cabo los trabajos de ingeniería, construcción, diseño, preparación, explotación y beneficio quedando totalmente instalada la unidad minera metalúrgica. En el mes de noviembre de 1958 se iniciaron las primeras pruebas metalúrgicas a escala industrial las que dieron óptimos resultados. Para el proceso de concentración se utilizaron los sistemas de medio pesado y pulsadores, mismos que continuaron operando hasta agosto de 1988.

El 5 de febrero de 1958 se inauguro la vía de ferrocarril que comunicaba La Perla-Avante-Monclova, misma que sirvió de medio de transporte tanto para el mineral concentrado como para el mineral en trozo. Cabe señalar que desde su inauguración hasta diciembre de 1991 funcionó un expreso de pasajeros que comunicaba a La Perla con Monclova y un tren especial que transportaba al personal médico y a una tienda ambulante para el abastecimiento de las familias de los trabajadores. Este tren recorría todas las estaciones de guardia y de mantenimiento dentro del tramo propiedad de Altos Hornos de México, estas estaciones fueron El Olvido, Texcoco, Honorato, San Fernando y Sabaneta.

Veytia-Barba et al., (1959) llevaron a cabo un estudio geohidrológico para tratar de resolver el problema que representaba el abastecimiento de agua para la planta de concentración y para uso doméstico del poblado de La Perla. En ese entonces el abastecimiento de agua provenía solamente de 6 pozos, con profundidades entre 120 y 270 m, que rendían en conjunto entre 9 y 10 litros por segundo.

En 1959 se comenzó la primera etapa de explotación a tajo abierto y desde ese entonces y por muchos años más esta empresa ocupó el primer lugar en producción de hierro a nivel

nacional. En ese mismo año, el Consejo de Recursos Naturales No Renovables (CRNNR) junto con la empresa Altos Hornos de México, S.A., iniciaron un estudio geológico-minero de la región de La Perla y La Negra con el propósito de incrementar las reservas de mineral. Los trabajos de campo concluyeron en 1961 y los resultados fueron publicados en 1964 por Cárdenas-Vargas y Del Castillo-García.

En noviembre de 1969 se inició la segunda etapa de explotación y beneficio con la creación de una planta de medio pesado y otra de pulsadores. Posteriormente, en 1970 se empezó la tercera etapa de tratamiento de mineral de baja ley de hierro y alto azufre. En 1974 se puso en marcha la planta de flotación y peletización para producir 600,000 toneladas anuales. Para abastecer la demanda de agua que requería la unidad, en 1982 se diseñó y llevó a cabo la construcción del acueducto que traería el agua desde la presa Rosetilla ubicada a 84 km de distancia.

Mientras se realizaba la explotación de la mina fueron desarrollados diferentes estudios de exploración e investigación con el fin de incrementar las reservas de mineral. Entre estos cabe mencionar que en 1972 se llevó a cabo un levantamiento aeromagnético a 300 m de altura hecho por CRNNR para Altos Hornos de México. Posteriormente en 1977 Campbell, realizó un estudio muy completo en el que determinó la edad y composición de las rocas volcánicas del área de La Perla. En 1978 Van Allen, realizó una revisión sobre el conocimiento del depósito, proponiendo una posible génesis para el mismo.

En el año 1982 Pérez-Segura, estudió los yacimientos y rocas relacionadas entre el área de La Perla y El Hundido. En 1988 Ruvalcaba-Ruiz, realizó estudios encaminados a conocer el origen del yacimiento. Al siguiente año se efectuó un levantamiento aeromagnético a 90 m de altura a cargo del CRNNR y Exploration Computer Services, Australia.

Entre 1991 y 1994 la unidad de La Perla cerró sus operaciones ya que cambió de ser una empresa paraestatal a una empresa de iniciativa privada. Durante 1995 y 1996 el Grupo Acerero del Norte, nuevo propietario de la unidad, comenzó nuevas investigaciones geológicas, geofísicas y metalúrgicas, reanudando así las operaciones en diciembre de 1996, mismas que continúan hasta la fecha.

La reapertura de la mina ha dado lugar a más estudios geológicos y geofísicos como los que realizaron Sánchez-Guiroz y colaboradores en 1997, Corona-Esquivel et al., 2003, Jacinto-Estanes, 2005, y el proyecto de investigación metalogenética por parte del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, entre otros.

FISIOGRAFÍA

El panorama fisiográfico del área es ligeramente abrupto ya que se encuentra en la parte central de la sierra de Mesteñas, que a su vez se localiza en un amplio valle limitado al poniente por la sierra de los Órganos, al sur poniente por la sierra Salsipuedes, al este por la sierra Encinillas y al norte por la sierra Mojina.

De acuerdo con Raisz (1964), el área del presente estudio se encuentra situada en la porción suroriental de la provincia Cuencas y Sierras. La elevación del área va de los 1,250 a los 2,000 msnm, en la que destacan el cerro Las Mesteñas con 2,000 m, localizado al sur poniente de La Perla, el cerro El Macho con 1,970 m ubicado al sur de La Perla, y el cerro Las Yeguas con 2,000 m al norte de La Perla. Las alturas menores se encuentran en el extenso valle de orientación norte-sur cuya elevación va de los 1,500 m en el sur a los 1,250 m en la parte norte.

El yacimiento de La Perla originalmente fue un cerro aislado de mediana elevación, conocido como Cerro del Fierro. Sin embargo, la fisiografía actual es la de un gran tajo alargado con orientación norte – sur de aproximadamente 1,200 m de longitud por 700 m de anchura y unos 80 m de profundidad, el que se observa desde imágenes satelitales.

MARCO GEOLÓGICO

El área de La Perla se encuentra en la porción suroccidental de la denominada provincia Geológica Chihuahuense (Ortega-Gutiérrez et al., 1992), en la que afloran rocas del Cenozoico y Mesozoico principalmente. Esta provincia cuenta con una extensión de 200,000 km² y abarca prácticamente la parte al oriente de la Sierra Madre Occidental. Es árida a semiárida y se extiende hacia el territorio de Estados Unidos de América. Por lo general sus sierras son bajas y abruptas, y se orientan noroeste-sureste, quedando separadas entre sí por grandes llanuras con relleno aluvial.

Particularmente, el área de la mina se localiza en la parte central de la sierra de Mesteñas, la cual corresponde a un campo volcánico de edad Terciario que se encuentran en el centro de un amplio valle limitado al surponiente por la sierra de los Órganos o Salsipuedes, al oriente por la sierra Encinillas y al norte por la sierra Mojina y los cerros La Morita.

En base a trabajos previos, es posible estimar la potencia de la columna estratigráfica en 560 m de espesor, constituidos por una secuencia de rocas volcánicas de edad Oligoceno, cuya composición es principalmente félsica, representadas por las unidades, Formación La Perla, Andesita San Lucas, Ignimbrita Tacubaya, Riolita Mesteñas, Arcosa Lítica, Toba Las Brujas y Riolita El Hundido (Campbell 1977; Van Allen 1978; en Corona-Esquivel et al., 2003).

Campbell (1977), quien estudió estas rocas, describe que la actividad ígnea de la Sierra de Mesteñas se caracterizó por etapas sucesivas de erupción y desarrollo de fallas menores. Las lavas que conforman el tercio inferior de las rocas volcánicas (Formación La Perla), están compuestas por una secuencia de más de 250 m de espesor que incluyen varios tipos de derrames de composición riódacítica, en los cuales se encuentra el depósito de La Perla. Estos derrames están cubiertos por una arenisca de grano fino (Arcosa Lítica), de aproximadamente 30 m de espesor, que a su vez está cubierta por una toba cristalina denominada Las Brujas que queda expuesta en una franja estrecha orientada al NW.

Las rocas descritas son consecuencia de la dinámica extensiva que se dio en el Terciario temprano. Durante ese período se desarrollaron fallas que separaron en bloques a las rocas pre-existentes y permitieron el ascenso de magmas hasta la superficie formando los campos volcánicos que ahora se observan. Estudios geoquímicos recientes llevados a cabo en el área de La Perla determinaron que las rocas volcánicas varían de subalcalinas en la región norte, a alcalinas hacia la parte sur de La Perla, representadas por riolita, traquita y dacita principalmente. Asimismo se determinó que el ambiente tectónico corresponde a una zona de magmatismo de intraplaca, donde hubo una escasa contaminación del magma con la corteza continental (Jacinto-Estanes, 2005).

DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

El depósito de La Perla, que originalmente se le conoció como Cerro del Fierro era una colina con base elíptica que se levantaba 70 m de la planicie en la cual había un pequeño aguaje en su base, que indicaba la profundidad del nivel freático.

Una vez que se conoció el yacimiento por medio de barrenos y que se empezaron las obras de explotación se pudo determinar que la forma original fue la de un potente manto de mineral con su eje mayor orientado al N20°E y el menor al N70°W y longitudes de 1,200 y 700 m respectivamente (Figura 2).

El cuerpo de mineral tenía forma lenticular, similar a la de un plato invertido con tendencia a angostarse y clavarse hacia los lados norte, oriente y poniente. Así mismo hacia su extremo sur (Perla Sur) continuaba en forma de un cuerpo alargado con tendencia a reducirse. Visto con detalle en las secciones puede apreciarse que en realidad el yacimiento consistió de capas lenticulares, algunas de ellas con más de 400 m de longitud y hasta de 50 m de espesor en su parte más gruesa, con intercalaciones de menor espesor de riocacita pertenecientes a la Formación La Perla.

La mena está constituida principalmente por hematita y cantidades menores de magnetita martitizada, también existe en varias partes de la mina escasa limonita. Los minerales de ganga son principalmente cuarzo y calcita con cantidades subordinadas de apatita y fluorita.

CUERPOS DE MINERAL DE HIERRO

Actualmente pueden distinguirse dentro de la mina cuerpos de mineral masivo, mineral pulverulento, mineral silicificado y cuerpos de brecha (Figura 3).

Cuerpos masivos

El mineral masivo está conformado principalmente por dos cuerpos de forma lenticular orientados de norte a sur, el primero se localiza en la parte central del tajo y en planta tiene aproximadamente 70 m por 50 m. El segundo cuerpo queda ubicado en la porción noroccidental del tajo, en planta tiene unos 180 m de largo con un ancho promedio de 20 m. La composición de ambos cuerpos es de hematita - magnetita de textura generalmente afanítica, y de color gris acero.

Los contactos de estos cuerpos masivos con la roca encajonante tanto al alto como al bajo son nítidos, aunque vistos en detalle puede observarse que el contacto inferior de algunos de los cuerpos, muestra una textura más fina y un color ligeramente más oscuro, por lo que pudiese corresponder a una zona de enfriamiento más rápido en la base de un posible derrame de mineral de hierro (Figura 4).

Mineral pulverulento

El mineral pulverulento queda expuesto a lo largo de un cinturón casi continuo en el perímetro interior de la mina, formando un manto cuyo espesor varía de 3 a 6 m. Dentro de este existen variaciones en cuanto al tamaño de sus cristales, textura, composición y materiales incluidos.

En la pared norte del tajo, bajo la unidad de arcosa, el mineral pulverulento presenta una estratificación laminar bien definida, en donde las capas laminares son muy delgadas y están constituidas por placas submilimétricas de magnetita martitizada (Figura 5).

En la pared occidental del tajo, el mineral pulverulento está conformado por varios estratos de textura diferente, desde aquellas constituidas por cristales sub-milimétricos hasta las formadas por cristales en forma de placas de tamaños de 2 a 3 mm. Se observa en los horizontes de textura gruesa que los cristales están dispuestos en varias direcciones, posiblemente como resultado de una cristalización a partir de un estado líquido o viscoso.

Por lo común en toda el área de la mina el contacto superior del mineral pulverulento con la riocacita que lo cubre está bien definido y forma una línea horizontal con escasas irregularidades. Sin embargo, en la pared NE del tajo, la cima del mineral pulverulento incluye bloques angulosos no alterados de la riocacita.

Mineral silicificado

El término “mineral silicificado” se refiere a ciertos lentes que se encuentran casi siempre hacia la parte inferior del mineral pulverulento, que por su contenido en sílice son de mayor resistencia. Son gris claro y presentan textura afanítica. Estos quedan expuestos principalmente a lo largo de una franja de unos 600 m en la pared suroriental del tajo y en un afloramiento menor en la pared oriental.

Cuerpo de brecha

Los cuerpos de brecha están constituidos por fragmentos de traquita en una matriz de magnetita. Estos cuerpos, en planta, son de forma semicircular alargada y se les encuentra principalmente en la parte norte de la mina, aunque también han sido mapeados dos pequeños cuerpos de brecha en la parte central sur del yacimiento. El mayor de ellos ubicado en el extremo noroccidental tiene en planta 200 x 100 m (Figura 6).

Hacia la parte superior, la brecha está formada por fragmentos y bloques angulosos de riolita poco alterada en una matriz de magnetita. La magnetita es maciza, gris oscuro, de textura fina y en algunas partes presenta abundantes vesículas en forma alineada. Asimismo, es común observar oquedades rellenas parcialmente con cristales euhedrales de calcita.

En el nivel medio del tajo, el cuerpo de brecha mineralizado está formado por bloques angulosos de riolita alterada con un porcentaje de matriz mayor que en la parte superior y constituido por magnetita negra de textura de grano fino. Las características descritas para estas brechas permiten interpretarlas como de origen ígneo.

Otro tipo de brechas mineralizadas que se encuentran en la parte norte de la mina son aquellas constituidas por fragmentos sub redondeados de riolita muy alterada, en una matriz de magnetita-hematita de textura fina, no muy compacta. Debido a la fuerte alteración que presentan los fragmentos, han sido interpretadas como brechas hidrotermales.

Edad del depósito

No se dispone de dataciones absolutas realizadas en el mineral, sin embargo, por su relación genética con las rocas volcánicas de la Formación La Perla en las que se encuentra, mismas que fueron datadas por el método de K/Ar en 31.5 ± 0.7 - 31.8 ± 0.5 Ma (Campbell, 1977), se le considera de la misma edad (Oligoceno).

Origen del yacimiento

Van Allen (1978), propuso un modelo hipotético en el que emanaciones acuosas ricas en flúor, escaparon de los magmas que originaron las rocas ígneas en el área de La Perla a través de fallas y fracturas, reaccionando con el vitrófido del miembro Mina y depositando por reemplazamiento óxido de hierro.

Pérez-Segura (1982), propuso un flujo de hierro tipo inyección, a temperaturas menores a 400° C, considerando que la parte estratiforme del yacimiento se depositó en un medio acuoso, y que la zona de brecha lo hizo en un sistema seco.



Figura 1. Mapa de localización de la mina La Perla.



Figura 2. Panorámica viendo al sur que muestra el tajo actual (año 2005) de La Perla.

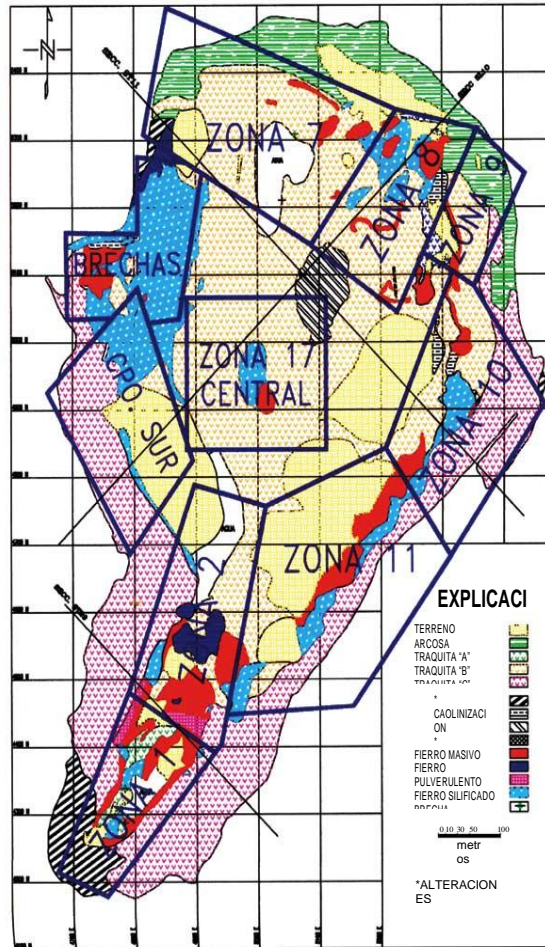


Figura 3. Mapa geológico del tajo de La Perla, que muestra los principales cuerpos de mineral y las zonas de explotación actuales. (Modificado de geólogos del Grupo Acerero del Norte, 1998).

Esto sería similar a un proceso combinado de los depósitos de Kiruna (Suecia) y El Laco (Chile), en un tirante de agua muy bajo.

Ruvalcaba-Ruiz (1988), define al yacimiento como un depósito magmático-tardío hidrotermal, en el que los fluidos generadores de la mineralización principal evolucionaron probablemente a partir de una fase traqui-dacítica relativamente rica en flúor, fósforo, hidrógeno, oxígeno y CO₂ a profundidades hipabisales formándose la mena, luego que fracturamiento y brechamiento intenso permitieron el ascenso de dicho fluido rico en hierro y el escape de volátiles.

Los estudios anteriores y nuevos datos geológicos, mineralógicos y texturales obtenidos en el presente trabajo permiten postular un origen magmático para este yacimiento. El cual se habría originado a partir de un magma de mena de óxido de hierro muy rico en volátiles (F, P, S). Este magma se formaría por un proceso de inmiscibilidad de líquidos que habría permitido la existencia de un magma de mena (óxido de hierro) y otro silicatado. Los volátiles habrían jugado un rol fundamental en el proceso de inmiscibilidad y también contribuido a descender el punto de fusión y otorgarle características físicas al magma de mena, disminuyendo su peso específico, variando su viscosidad y con ello permitiéndole ascender y escurrir. A partir del magma de mena se habrían originado los cuerpos de hierro y del silicatado se habrían formado las riolita y riodacita. Los cuerpos de mineral de hierro se habrían emplazado como coladas de lava de mena (cuerpos masivos), depósitos piroclásticos, principalmente de tamaño ceniza (cuerpos pulverulentos) y cuerpos de brechas magmáticas (Figura 7). Las coladas de lava, los depósitos piroclásticos y las cenizas volcánicas de óxido de hierro habrían sufrido una oxidación muy rápida por el efecto de la temperatura a la cual se encontraban y la acción de agua meteórica (lluvia), determinando la transformación de magnetita original a hematita. En la evolución de este magma de mena se originaría una fase hidrotermal y sus soluciones habrían reaccionado con la riolita y riodacita, alterándolas, produciendo silicificación en algunos cuerpos de mena ya formados y originando cuerpos de brecha hidrotermal.

SITUACIÓN ACTUAL

Reservas y leyes

Las reservas del yacimiento La Perla se conocen en base a barrenos de diamante y cálculos volumétricos de mineral extraído, llegándose a la conclusión que el volumen original del yacimiento fue de alrededor de 87 millones de toneladas métricas, lo cual lo coloca como uno de los de mayor tamaño conocidos en la República Mexicana en un solo cuerpo de mineral.

En la actualidad ya es poco el mineral explotable que se encuentra encapotado tanto en el lado oriente, norte y sur del yacimiento, que apenas si rebasan los cinco millones de toneladas.

La ley media encontrada en los análisis de los barrenos de diamante para todo el yacimiento fue la siguiente (Ramírez-Lara, 1973):

Fe, 57.18%; P, 0.05%; S, 0.37%; SiO₂, 9.15%.

Preparación y concentración de los minerales

Los camiones que transportan el mineral con una medida de <24" lo conducen a una unidad de trituración la cual ha sido instalada aprovechando el desnivel del terreno. De ahí se vacían a una quebradora hidrocónica giratoria de 36" x 55"; en

donde el mineral es quebrado a -6". Posteriormente pasa a una tolva subterránea y de esta por medio de una banda transportadora es elevado hasta las quebradoras secundarias del mismo tipo de 12" x 60". Antes de llegar a las quebradoras secundarias se criba el mineral quitándole todos los finos de -1/4", los cuales son tratados en la planta de finos No. 2. Todo el mineral de +1/4" es quebrado a -2" de donde pasa a formar el "todo uno" y de aquí pasa a la planta de medio pesado y pulsadores.

Antes de entrar a los tambores separadores se le quita todo el mineral fino de <1/4" producto del quebrado secundario, el cual pasa a la sección de finos No. 1, donde por medio de pulsadores (*jigs*) es concentrado y listo para embarque. El mineral grueso (>1/4") es concentrado por medio de tambores separadores de 10' x 10' de donde el producto final viene siendo el trozo fuera de especificación de +1/4", el cual se tritura por medio de una quebradora terciaria del mismo tipo de las otras, de 5" x 84".

Además de las instalaciones antes mencionadas, se cuenta con una concentradora por medio de separación magnética de alta y baja intensidad, que concentra el mineral magnético y paramagnético del yacimiento, con una capacidad de 1.5 millones de toneladas al año. El producto de esta planta es transportado a las instalaciones de la ciudad de Monclova, por medio de un ferroaducto, donde es peletizado para posteriormente ser fundido en los altos hornos.

Comercialización

La Perla Minas de Fierro, S.A. vende sus productos minerales a AHMSA (Altos Hornos de México S.A.) que por ser subsidiaria de esta compañía, trabaja sin utilidades.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El yacimiento de La Perla al igual que el de Cerro de Mercado en Durango y Hércules en Coahuila, se encuentran asociados a centros volcánicos de rocas terciarias de composición principalmente félsica, depositadas en un ambiente continental subaéreo. Estas características son muy similares a los yacimientos de hierro que se encuentran en la franja andina terciaria de Chile.

En la región de La Perla es evidente la relación que existe entre las fallas regionales, el volcanismo y la mineralización de hierro principalmente.

Las características morfológicas, estructurales, texturales y mineralógicas observadas en el yacimiento de La Perla señalan una gran similitud con las que se presentan en el yacimiento de Cerro de Mercado y también con las descritas en otros yacimientos de magnetita-apatita en el mundo, como es el caso de El Laco en Chile, y Kirunavaara, en Suecia (Henríquez y Martín, 1978; Nyström y Henríquez, 1994).

Recientemente ha surgido la propuesta de los yacimientos tipo IOCG (*Iron Oxide Copper Gold*) deposits y en los últimos años, a nivel internacional, se ha propuesto la existencia de tres miembros extremos dentro de la tipología IOCG: (1) tipo Olympic Dam, caracterizado por brechas hematíticas con contenidos importantes de Cu, U y Au; (2) tipo Kiruna (Suecia), caracterizado por depósitos de magnetita (pobre en Ti) -apatito, con cantidades subordinadas de Cu y Au; y (3) tipo Bayan Obo (Mongolia Exterior, China), con grandes acumulaciones de REE y Nb. Las características del yacimiento de La Perla son más semejantes al tipo Kiruna (Suecia).



Figura 4. Contacto inferior de un cuerpo de mineral de hierro masivo ubicado al sur del tajo con la riocacita de la Formación La Perla.



Figura 5. Mineral de hierro pulverulento muy deleznable con estratificación laminar expuesto en la pared norte del tajo.



Figura 6. Parte superior de un cuerpo de brecha mineralizada expuesto en la parte NW del tajo. En color rosa claro se observan bloques de riocacita y el color negro corresponde a la magnetita.

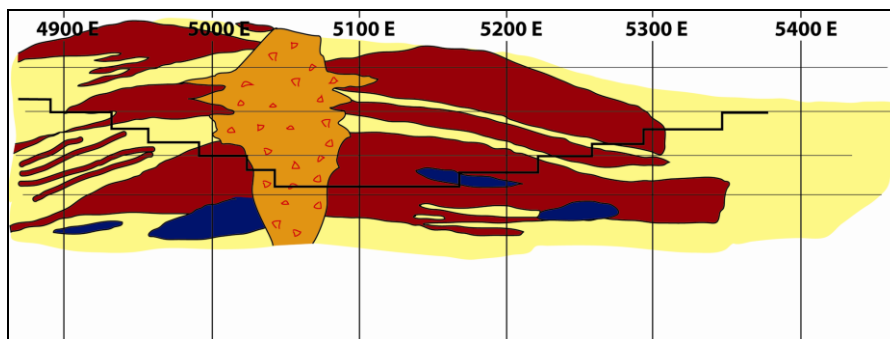


Figura 7. Sección esquemática E-W de la mina, que muestra la interpretación de los cuerpos de mineral con base en información obtenida de barrenos con recuperación de núcleo. (Sección inédita de M.A. Ramírez-Lara, sin fecha). Rojo, mineral macizo de alta ley, +45% Fe. Anaranjado, mineral brechado baja ley, 30-45% Fe. Azul, mineral pulverulento alta ley, +45% Fe. Amarillo, Traquita.

Con vistas a la exploración y localización de nuevos cuerpos de hierro y metales asociados (Au, Cu, REE) resulta conveniente revisar las características de los depósitos de hierro en base a nuevas ideas genéticas, ampliando así el espectro de exploración para estos depósitos en México (Tritlla et al., 2003).

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por el proyecto de investigación PAPIIT, UNAM, número IN-123202-2, y por el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en diversos proyectos de carácter interno. El Grupo Acerero del Norte (GAN), gentilmente dio las facilidades para el trabajo en la mina y el hospedaje en su Unidad La Perla. La formación electrónica del texto y la adaptación de las figuras fueron procesadas por Federico Díaz-Mafara.

REFERENCIAS

Campbell, A.R., 1977, Volcanic rocks of the La Perla Area, Chihuahua, Mexico: Master of Arts thesis, University of Texas at Austin, 110 p. (inedita).

Cardenas-Vargas, José, y Del Castillo-García, Luis, 1964, Yacimientos de hierro de La Perla y La Negra, municipio de Camargo, Chihuahua: Consejo de Recursos Minerales No Renovables, Boletín 69. 79 p.

Corona-Esquivel, Rodolfo, Escudero-Chávez, Marcos, Ramírez-Lara, M.A., Quintana-Fierro, Tomás, 2003, Características Geológicas del yacimiento de hierro La Perla, Estado de Chihuahua: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, XXV Convención Internacional, Memoria, p. 21-25.

Henríquez, F., y Martin, R., 1978, Crystal-growth textures in magnetite flows and feeder dykes, El Laco, Chile: *Canadian Mineralogist*, v. 16, p. 581-589.

Jacinto-Estanes, J., D., 2005, Petrología de las rocas volcánicas del área de la mina de hierro La Perla, Chihuahua y su correspondencia con la mineralización: México D.F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis de licenciatura, Ingeniero Geólogo, 96 p. (inedita).

Nyström, J.O., y Henríquez, F., 1994, Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden—ore textures and magnetite geochemistry: *Economic Geology*, v. 89, p. 820–839.

Ortega-Gutiérrez, Fernando; Mitre-Salzar, L.M.; Roldán-Quintana, Jaime; Aranda-Gómez, J.J.; Morán-Zenteno, Dante;

Alaniz-Álvarez, S.A.; y Nieto-Samaniego, Á.F., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2,000,000: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 74 p.

Pérez-Segura, 1982, Zoneografía, paragénesis y origen de los yacimientos de hierro del lote El Hundido; Informe inédito preparado para Altos Hornos de México, S.A., 25 p.

Raisz, Erwin, 1964, Landforms of Mexico: Cambridge, Massachusetts. U.S. Navy Geographical Branch, mapa, escala aproximadamente 1: 3,000,000.

Ramírez-Lara, Marco Antonio 1973, Unidad La Perla: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, X Convención Nacional, Libro Guía de Excursiones. p. 38-49.

Ruvalcaba-Ruiz, Delfino., 1988, Geología y Origen del Yacimiento Ferrífero de La Perla, Chihuahua: Informe Inédito para La Perla Minas de Fierro, S.A.

Sanchez-Quiroz, Saul, Gutierrez-Lopez, David, y Peña-Rodríguez, Cesar, 1997, Modelo Geológico-Geofísico del yacimiento de Fierro La Perla, Chih., Utilizando los métodos Aeromagnético y Audiomagnético Telúrico de fuente controlada: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, XXII Convención Nacional, Trabajos Técnicos. p. 309-325.

Torón-Villegas, Luis, y Esteve-Torres, Adrián, 1946, Estudio de los yacimientos ferríferos de México; Fasiculo II, Yacimientos del grupo del norte, estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Zacatecas: México, D.F.: Investigaciones Industriales del Banco de México, 147 p.

Tritlla, Jordi, Camprubí, Antoni, Corona-Esquivel, Rodolfo, y Centeno-García, Elena, 2002, Los depósitos de tipo óxidos de Fe-(Cu-U-Au-REE): polémicas sobre su origen y su posible existencia en territorio mexicano: *Sociedad Geológica Mexicana, Gaceta Geológica, Época II, v. V, núm. 1-2, p. 3-4.*

Van Allen, B., 1978, Hydrothermal iron ore and related alterations in the volcanic rocks of La Perla, Chihuahua, Mexico: Master of Arts thesis, University of Texas at Austin, 131p. (inedita).

Veytia-Barba, Mario, Reyes-Serna, Vigueras, y Velasco-Hernández, Juan, 1959, Estudio geohidrológico para el abastecimiento de agua al mineral de La Perla, Chih.: Consejo de Recursos Naturales No Renovables, informe técnico 5 p. (inedito).