

LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE MINERALES ESPECIALES PARA FERROALEACCIONES

POR

A . C O M B A

Ingeniero Vocal del Instituto Geológico y Minero de España

(Conferencia dada en los Cursos de Verano de la Universidad de Oviedo)

Ante todo quiero explicar el motivo de mi presencia inmerecida en esta Cátedra, por donde han pasado personas de tanto renombre, y éste ha sido, el corresponder a la atención que ha tenido el Sr. Rector de esta Universidad con el Instituto Geológico y Minero de España, al solicitar de su director diera el nombre de uno de sus vocales para dar una Conferencia en este Curso de Verano, sobre el tema que ya todos conocen, habiéndome cabido el alto honor de haber sido designado para cumplir tan honrosa misión.

Quiero también advertir a ustedes antes de empezar, para que no les cause decepción esta disertación, que yo más que orador, cuya dote no quiso Dios darme, soy hombre de estudio y de trabajo, curtido en el campo y en la mina, donde he adquirido mi experiencia, que hoy vengo a exponerles con la mayor sencillez y claridad posible.

Y una vez hechas estas aclaraciones, voy a comenzar, a modo de preámbulo, por hacer una reseña histórica del proceso seguido por la industria del acero, hasta llegar al grado actual de refinamiento, para explicar la importancia que puede tener el desarrollo

en España de la minería de los metales especiales para ferroaleaciones, que es el fin principal de esta Conferencia.

I.—Proceso histórico de las ferroaleaciones

De todos es conocida la importancia que se le ha dado a la fabricación del acero, desde épocas muy remotas, en que ya se le usaba para la fabricación de útiles cortantes, armas y herramientas de trabajo. Pero la preparación de este acero, hasta casi la Edad Media, dependía mucho del azar y no se podía obtener con seguridad cuando se quería. Hasta el año 1550 en que Agrícola y Biringuccio describieron el primer procedimiento de obtención segura del acero, cementando el hierro dulce en un baño de hierro bruto o hierro fundido obtenido directamente del mineral, calentándolo y agitándolo, a la vez que le agregaban hierro dulce, hasta que la fundición se volvía pastosa y afinada, y por lo tanto toda la masa se convertía en acero, aunque por este procedimiento se obtenían desechos de fabricación que a veces excedían del 50 por ciento del metal elaborado.

Después, en el siglo XVIII, se perfeccionó este procedimiento llegando a la verdadera «cementación», por la que se transformaba el hierro dulce en acero calentándolo en presencia de carbón pulverizado, hasta reblandecerlo, manipulándolo convenientemente hasta hacerle absorber la cantidad necesaria de carbono.

Este procedimiento, usado ya en el siglo XVII en el Piamonte y luego en Inglaterra, fué estudiado y perfeccionado en Francia por Reaumur en el siglo XVIII, preparando polvos especiales de cementación y hornos adecuados para garantizar el éxito de la operación.

En 1740 Huntsman halló el modo de obtener en una sola operación el acero fundido y homogéneo, o sea refinado, calentándolo en crisoles refractarios con cok puro en hornos de chorro de aire, cuyo procedimiento se mantuvo secreto hasta principios del siglo XIX, siendo solo Inglaterra la que podía suministrar acero fundido por aquella época.

Pero todos estos procedimientos, que eran largos y sumamente delicados, por lo tanto costosos, fueron rápidamente sustituidos en el año 1855 por el procedimiento Bessemer, que dió sin duda alguna un gran paso en la metalurgia del hierro, ya que con su convertidor lograba producir, rapidamente y de un modo perfecto enormes cantidades de hierro y acero, insuflando aire en un convertidor de forma de pera revestido de arcilla refractaria silicea, en el que la temperatura se mantiene lo bastante elevada para mantener al estado líquido la fundición y favorecer así su descarbonización por combustión del carbón, al mismo tiempo que el silicio que le roba al revestimiento la fundición, queda eliminado en forma de escorias con el fósforo y el manganeso que pueda contener, dando así un acero muy puro.

Posteriormente este procedimiento, que tenía el inconveniente de no ser aplicable para fundiciones fosforosas, por la dificultad que había de eliminar el fósforo en las mismas, fué modificado en el año 1878, por Thomas, cambiando el revestimiento de arcilla por otro básico, a base de magnesia y dolomía pulverizada, que elimina casi por completo esta impureza.

Así mismo los hermanos Martín obtuvieron en el año 1865 un acero bastante puro fundiendo en un horno de reverbero una mezcla del 75 por ciento aproximadamente de fundición con el 25 por ciento de hierro dulce.

Después, con el invento del horno eléctrico, se trató de obtener el acero en este tipo de hornos, pero en realidad el procedimiento fué desechado por ser enormemente caro; hasta los años de la pasada guerra europea, en que estos procedimientos llegaron a perfeccionarse, patentándose varios tipos de hornos eléctricos para la fabricación de aceros.

Entrándose de lleno con este nuevo adelanto en la fabricación de aceros especiales, en los que para modificar y mejorar las cualidades del acero, *se emplea el manganeso, tungsteno, molibdeno, níquel, cromo, silicio, vanadio, titanio, glucinio y circonio.*

II.—Usos y propiedades de los distintos aceros

El primer metal especial que entró a formar parte de la composición de los aceros fué el *manganeso*, cuyas buenas propiedades como desoxidante y desulfurante, fueron ya descubiertas hacia el año 1865, y aplicadas, para purificar las fundiciones y aceros, del fósforo, azufre y nitrógeno de combinación, que aún en pequeñas cantidades les son tan perjudiciales, agregándose directamente los minerales de manganeso en la carga del alto horno, en la primera época de esta operación. Práctica que fué después sustituida por la agregación del ferromanganeso (fundición del 25 al 80 por ciento de manganeso), o del «*spiegel*» (fundición del 2 al 25 por ciento de manganeso), según los casos, obtenido directamente en un pequeño alto horno, o en el horno eléctrico, como hoy se obtiene en las acererías, para agregarlo en la proporción necesaria al obtener la fundición o el acero, en los cuales entra siempre en mayor o menor proporción, desde 0,80 por ciento de manganeso en los aceros corrientes, de vigas de construcción, carriles, etc., o del 11 por ciento a 14 por ciento de los aceros Hadfield, o aceros de forja, moldeo y laminado, que por su gran resistencia al uso y los choques, se emplea generalmente, en los enclavamientos de vías y agujas, quebrantadoras de mandíbulas, trituradoras de bolas, dragas, corazas para buques, planchas de blindaje, cascos, etc., no siendo conveniente que el manganeso pase de dicha proporción por su tendencia a la oxidación superficial.

Otro de los metales que mayor aplicación han alcanzado en la fabricación de aceros especiales es el *tungsteno*, por la gran dureza que les comunica debido a su afinidad por el carbono, con el cual forma un carburo de tungsteno tan duro que su dureza puede compararse a la del diamante, el cual entra en los aceros desde la proporción del 0,60 por ciento de tungsteno (aceros al silicio para la fabricación de resortes), hasta el 18 por ciento de tungsteno, en los llamados aceros rápidos, para instrumentos cortantes, herra-

mientas de trabajo, barras para perforación de barrenos, válvulas para motores de explosión, aceros para imanes, aceros inoxidables en caliente, etc., en los cuales este metal entra en mayor o menor proporción, pero siempre en combinación con otros metales especiales, como son el cromo, níquel, vanadio, molibdeno, manganeso y silicio, que mejoran sus cualidades físico químicas, según la proporción en que estos entren.

Otro de los metales que tienen también bastante aplicación en las acerías es el *molibdeno*, cuyas buenas cualidades fueron ya estudiadas por León Guillet en el año 1904, pero que en realidad no han sido aplicadas hasta el año 1918, en que debido a las necesidades de la guerra europea, Norteamérica se lanzó a la construcción en gran escala de los aceros especiales al molibdeno, principalmente en lo que a la industria aeronáutica se refiere, y a la industria del automóvil, donde tienen su mayor aplicación, dadas las buenas cualidades que comunica a estos aceros, en lo que se refiere a su tratamiento térmico (penetración de temple y disminución de fragilidad), así como en la disminución de su desgaste por el uso, debido a la dureza que le comunica, y contextura de grano fino, que facilita notablemente su moldeo, en los cuales el molibdeno, suele entrar en pequeñas proporciones (del 0,15 al 0,75 por ciento), en combinación con el cromo, níquel y vanadio, excepto en los aceros al cromo-molibdeno de fabricación de imanes, que dada la buena cualidad que tiene este metal de favorecer notablemente la conservación del magnetismo remanente, suele entrar en la proporción del 6 por ciento de molibdeno.

También suele utilizarse con bastante frecuencia en la fabricación de aceros especiales, el *níquel*, por la buena propiedad que tiene de transformar la cementita de las fundiciones en grafito y perlita, aumentando así la fineza y regularidad del grano del acero, disminuyendo su porosidad, aumentando notablemente el límite de elasticidad y de la carga de ruptura, por lo que se emplea mucho en el moldeo de piezas delicadas de poco espesor, como son las válvulas de motor de aeroplano, aletas de turbinas, etc., gene-



ralmente combinado con otros metales como son, el cromo, molibdeno y vanadio, que modifican en parte, y mejoran sus cualidades pudiéndose clasificar este tipo de aceros en dos clases, según la proporción de níquel que en ellos entre, o sea: aceros perlíticos de baja cantidad de níquel (del 2 por ciento al 5 por ciento) que se emplean en piezas de fácil moldeo, como son, árboles, bielas, piñones de engrane, matrices de forja, etc., y aceros austeníticos de elevada proporción de níquel (del 25 al 80 por ciento), que se emplean en piezas de moldeo delicado, o sometidas a elevadas temperaturas, como son, hilos de resistencia para hornos eléctricos, pares termoelectrónicos, núcleos de transformadores, balanzas de precisión, y espirales de relojes.

Otro de los metales que tiene bastante aplicación en los aceros de este tipo es el *chromium*, por la afinidad que tiene con la cementita, de la fundición, con la cual forma un carburo doble de hierro y cromo bastante duro, aumentando por lo tanto la dureza de la misma, al mismo tiempo que modifica notablemente la contextura de su grano, que le hace más fino, aunque debe emplearse en pequeña proporción (del 1 por ciento al 3,50 por ciento de cromo), por que aumenta considerablemente la fragilidad del mismo, no siendo en los aceros inoxidable, en los que el cromo entra en la proporción del 13 por ciento, empleados en la construcción de cascos de buques, pero siempre en combinación con otros metales como son el níquel, el silicio, y el molibdeno, que mejoran sus cualidades.

El silicio obra también como desoxidante y desulfurante, en el refinado de las fundiciones, teniendo en general las mismas aplicaciones que el ferromanganeso, empleándose siempre para estas operaciones en forma de ferrosilicio. Pero este es de muy peligrosa manipulación, por su tendencia a producir explosiones con desprendimiento de Ph H_3 , As H_3 y Si H_4 que son sumamente ve-

nenosos (1) sobre todo en los ferrosilicios de alta proporción de silicio (del 50 al 95 por ciento), que es muy poroso, y colocado en sitio húmedo, tiende a formar dichos ácidos con muchas probabilidades de producir explosiones, por lo que cada día es más restringido su empleo en las acererías, no siendo para ciertos usos, en los que solo se emplea el ferrosilicio de baja proporción de silicio (del 10 al 15 por ciento).

El vanadio, que no interviene en los aceros más que en una proporción de 0,20 al 0,55 por ciento, les proporciona una contextura de grano sumamente fino, aún a temperaturas sumamente elevadas, debido a su afinidad por el carbono, pues obra directamente sobre la perlita, que tiende a transformarla en sorbita, y sobre la cementita, con la cual forma un carburo doble muy estable, entrando un poco en solución sólida en la ferrita, por esta causa la agregación de una pequeña cantidad de vanadio en los aceros para herramientas, y en particular para las de usos cortantes de corte rápido, mejora notablemente su calidad, sobre todo si han de ser sometidos a temperaturas elevadas (matrices de estampado en frío o en caliente).

El titano, que no entra en los aceros especiales en mayor proporción que el 0,10 al 0,5 por ciento, obra como desoxidante y desnitrógeno, dándole muy buenas cualidades a los aceros moldeados y estirados, empleándose principalmente en la fabricación de carriles, en los que entra en la proporción del 0,10 por ciento de titano.

El glucinio, se comporta en los aceros como el silicio, pero tiene

(1) El Ph H_3 (Hidrógeno fosforado, o «fosfina»), se enciende al contacto del aire, y es muy venenoso, aún estando muy diluido en el aire (1: 10.000).—El As H_3 (Hidrógeno arseniado, o «arsenamina»), que se emplea como base principal de algunos gases tóxicos de «guerra química» es también sumamente venenoso, habiendo producido la muerte de los químicos Gehlen (1815), Bullache y recientemente Schulze, que lo emplearon sin tomar las debidas precauciones.—El Si H_4 (Hidrógeno siliciado, o «siliciometano», se enciende espontáneamente al contacto del aire, formando nubes en anillos blancos como el Ph H_3 .

la buena cualidad de que pueden ser endurecidos después del temple por un enfriamiento prolongado, aunque presentan poco interés a causa de su contextura que es de grano grueso, análoga a la de los aceros al ferro-silicio, aunque se mejora notablemente esta cualidad si se le agrega un 5 por ciento de níquel, o el 12 por ciento de cromo (sin pasar del 1 por ciento de glucinio), ya que adquiere rápidamente una contextura de grano fino, con una dureza igual a la de los aceros rápidos, y una gran resistencia a la corrosión, siendo sus aceros muy empleados a causa de sus propiedades magnéticas en la construcción de imanes permanentes.

Y por último el *circonio*, tiene un gran poder purificador del acero, por su afinidad con el oxígeno, el nitrógeno, el azufre y el fósforo, propiedades que fueron descubiertas ya en el año 1918, pero en realidad su aplicación no se ha introducido en Europa hasta el año 1931, teniendo hoy día una gran aplicación en las acerías, ya que además de estas buenas cualidades, le comunica al acero al estado libre (con un máximo del 0,15 por ciento) una gran dureza y resistencia, no debiendo pasar del 0,35 por ciento en ningún caso, pues le hace ya demasiado frágil, siendo muy empleado en la actualidad para la construcción de planchas de acero para blindajes.

Y ya una vez conocidos los usos y propiedades que comunican estos metales a los aceros, vamos a hacer una reseña de los tipos de criaderos en que pueden encontrarse éstos, para terminar haciendo una somera descripción de los que hoy pueden explotarse en España.

III.—Estado en que se encuentran estos metales en la naturaleza y características de sus yacimientos

Antes de describir los principales yacimientos españoles de esta clase de metales, vamos a hacer una somera descripción de la forma en que suelen presentarse en otros países, y tipo del criadero a que corresponden en cada caso, para deducir la analogía que

pueda existir entre estos yacimientos y los nuestros, citándolos por el mismo orden que antes hemos mencionado.

M A N G A N E S O

Producción.—La producción mundial del manganeso que hoy día pasa de 3.500.000 toneladas de mineral, corresponde en su mayor parte a Georgia, Rusia, India Inglesa, Costa de Oro y Brasil, los cuales producen cerca de 3.000.000 de toneladas, correspondiendo el resto de la producción a otros países, entre los cuales figura España, que en el año 1918, llegó a producir 78.000 toneladas de mineral.

Más del 90 por ciento de esta producción, viene empleándose en la metalurgia del hierro, lo que da idea de la importancia que ha adquirido hoy día este metal en dicha industria.

Minerales.—Durante mucho tiempo, no se ha explotado más que los óxidos, o sea, la «pirolusita» (MnO_2), la «hausmanita» (Mn_3O_4), «braunita» (Mn_2O_3), «acerdasa» ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$), y «psilomelana» ($Mn_2O_3 \cdot BaO \cdot H_2O$), que dan minerales del 50 por ciento al 70 por ciento de bióxido de manganeso, con muy poca sílice.

Posteriormente, debido a las necesidades del mercado, y al agotamiento natural de los óxidos, a medida que las explotaciones se han ido profundizando, se ha explotado también los silicatos (rhodonita) y carbonatos (dialogita), que hoy día juegan importante papel en las acerías, siempre que estos minerales no tengan más del 12 por ciento de sílice, aunque su ley en manganeso sea más baja (del 30 por ciento al 45 por ciento).

Yacimientos.—El papel metalogénico del manganeso es muy parecido al del hierro, al que va unido muchas veces en forma de hierros manganesíferos. *Presentándose unas veces en forma de filones de contacto*, por secreción periférica de rocas de origen magmático, como sucede en un yacimiento que se explota en New Jersey, en donde el mineral de manganeso se presenta rellenando las cuevas

que se han formado en una caliza cristalina primaria que está al contacto con el gneis del estrato cristalino.

Otras, como producto de oxidación en las monteras de ciertos filones metálicos.

También se encuentra como producto de sustitución de ciertas calizas secundarias, como sucede en Las Cabasés (Ariege), y en España (Oviedo), en donde se explotan yacimientos de manganeso, producidos por sustitución en la caliza devoniana.

Y otras en fin, en forma de yacimientos estratiformes, que es el tipo de yacimiento más rico que se conoce, el cual se presenta a su vez bajo diferentes aspectos, como veremos a continuación.

a) *En forma de lentejones de minerales muy puros* (con el 53 por ciento de Mn.), intercalados en rocas manganesíferas, de tipo cuarzoso, en las que el metamorfismo ígneo de profundidad ha ejercido su acción sobre antiguos sedimentos manganesíferos, originándose así las concentraciones de manganeso que en estas se encuentran, en forma de silicatos, ulteriormente peroxidados, por encontrarse muy próximo a la superficie del terreno.

Los yacimientos más importantes de este tipo son los la India (Madras y provincias centrales) y los del Brasil, en la Sierra de Ila-columi (Minas Garaes) en los que el mineral se presenta en lentejones que ocupan extensiones de 2 a 3 kilómetros de longitud, intercalados en micascitas y calizas precambrianas.

b).—*En filones de «jaspes manganesíferos»,* como sucede en Rusia (los Urales), donde los filones van interestratificados entre las pizarras silurianas y devonianas de esta región, en relación con ciertos diques eruptivos, del mismo tipo que los que se presentan en España (Huelva y Sevilla).

c).—*En filones capas de aspecto terroso, a veces de forma colítica,* de 1,50 a 2 metros de espesor, con minerales muy puros (óxidos del 55 por ciento de Mn), intercaladas entre lechos calizos y de areniscas del cretáceo y del eoceno superior y a veces rellenando huecos en las rocas que forman el yacente o muro del criadero.

Corresponden a este tipo de yacimientos las formaciones man-

ganesíferas de Rusia (El Caucaso y Nikopol) que ocupan grandes extensiones de terreno, y las de España (Zaragoza, Huesca, Teruel y Ciudad-Real), cuyas explotaciones tienen cada día mayor interés industrial.

El origen de formación de estos yacimientos puede ser el mismo que el de las formaciones actuales de los fondos de los mares profundos (de 1.800 a 3000 mts.) y de los lagos y marismas, de nuestros días en los que a veces se encuentran lechos manganesíferos de este tipo.

d.—*Y por último, pueden encontrarse ciertos yacimientos manganesíferos, como producto de concentraciones superficiales de alteración continental, sin que existan minerales o formaciones de manganeso a profundidad, que hayan aportado estos elementos, sino simplemente por disgregación de los terrenos próximos, siempre que estos contengan alguna cantidad de manganeso como elemento constitutivo de la roca madre, como sucede con las «lateritas» de las Indias.*

TUNGSTENO

Producción.—La producción mundial de tungsteno, en minerales concentrados del 60 al 70 por ciento de ácido túngstico (que es el tipo de mena del mercado), viene a ser en época normal de unas 15.000 toneladas, producción que ha aumentado bastante en estos últimos años, dada su gran aplicación en planchas de blindaje y en las diferentes clases de acero que se emplean en los armamentos de guerra.

Los principales países productores son: China, Birmania, Bolivia, Estados Unidos, Portugal y España, aún cuando la producción en todos estos países es muy irregular, aumentando o disminuyendo con suma facilidad, según las demandas del mercado.

Minerales.—El mineral que se explota en estos países, es generalmente el wolfrán (Mn Fe) $W O_4$, que es el mineral más apreciado en las fundiciones para la obtención del tungsteno y sus ferroaleaciones, aún cuando a veces se explota también la «schelita»

(Ca WO_4), que es un mineral de superficie que se encuentra a veces en estos yacimientos de wolfram, formando la montera del filón, y que es muy apreciado hoy día para la obtención del ácido tungstico, del cual se parte para producir el tungsteno que se emplea en la fabricación de filamentos metálicos para lámparas de alumbrado eléctrico.

Yacimientos.—*El papel metalogénico del tungsteno es similar al del estaño, con el cual se presenta generalmente asociado (en forma de «cassiterita», junto con otros sulfuros, aunque en menor proporción como son la «bismutina» (Bi_2S_3) la «molibdenita» (MoS_2), el «mis-piquel» (As S Fe) y «estibina» (Sb_2S_3).*

Se presenta generalmente este metal en filones de origen hidrotermal, rellenando grietas de rocas ácidas (granitos, granulitas, gneis y pizarras silíceas), siendo el tipo de roca más ácido, o sea la granulita, donde el wolfram se presenta en mayor proporción, sobre todo si el filón de cuarzo donde se encuentra presenta vestigios de haber sido atacado fuertemente por solfataras ácidas, que suelen dejarlo completamente corroído y de aspecto cavernoso.

Los principales yacimientos de este mineral, son los de China (Tonkin y Pia-Ouac) y Birmania (Tenasserin y Mergui), cuyas características son las mismas que acaban de ser enunciadas, yendo después otros de menor importancia como lo son los de los Estados Unidos (Montana, Colorado, Nevada, California y Arizona), Portugal (Villa-Real, Castello-Banco, Cabeço de Piao, Braga, Villa Nova de Velha, Guarda y otras), todas ellas en íntima relación con los que hoy se explotan en España en el Noroeste y Oeste, junto a la frontera portuguesa, y otras de análogas características situadas en el interior de nuestra Península.

M O L I B D E N O

Producción.—La producción mundial de molibdeno (metal) pasa hoy de 2.000 toneladas, correspondiendo un 80 por ciento aproximadamente de esta producción a los Estados Unidos, y el resto, a

Canadá, Perú, Transval, Japón y otras naciones de Europa como son, Suecia y Noruega, Inglaterra y Yugoslavia.

Minerales.—El mineral que se explota generalmente es la molibdenita (MoS_2) explotándose a veces también la «wulfenita» (MoO_4Pb), que se encuentra muy raras veces en la naturaleza.

Yacimientos.—Los yacimientos en que se presentan los minerales, corresponden a dos tipos de formación, aunque los dos de origen filoniano hidrotermal.

a) *Al primer tipo corresponden todos aquellos en los cuales se explota la molibdenita que suele venir casi siempre asociada al wolfram, a la casiterita, y a los otros minerales que se encuentran en esta clase de filones, que encajan en rocas fuertemente ácidas (granulitas, pegmatitas y granitos), aunque a veces pueden presentarse en otras rocas menos ácidas, como son las sienitas circonianas, (asociadas con el circón).*

Siendo los principales yacimientos los de Australia (Queensland, y New South Wales) California (Comté de Riverside), Francia (Glacier de la Meije y Col du Geant), Austria (Zinnwald y Sohlängenwald), y en Inglaterra (Cornwall, que se presentan todos ellos en filones de cuarzo, cuyas características son muy parecidas a las de los filones que se encuentran en España (Galicia, Extremadura y otras regiones).

b).—*Al segundo tipo corresponden todos aquellos yacimientos en los que el molibdeno se presenta en forma de wulfenita, asociado al plomo (galena), con la cual debe presentarse en forma de hojas delgadas de molibdenita, en profundidad, siendo muy posible haya pasado inadvertido en muchos casos, dada la semejanza que tienen estos minerales entre sí, y tal vez, la escasez con que se encuentra, diseminada en estos filones, mientras que en la superficie o sea en la zona de oxidación, cambia completamente de aspecto puesto que toma color amarillo, siendo natural aumento también su concentración, debido a los fenómenos de cementación que se producen en la superficie. Siendo los principales yacimientos de este tipo los de Arizona, (Condado de Pinal y Castle Dome), en Nevada, en*

Méjico, en Alemania (Bleiberg, Windich-Kappel y Schwarzenbach) en Hungría (Rezbanya), y Escocia (Leadhills), en los que el mineral se encuentra siempre en los afloramientos de ciertos filones de plomo, de análogos características que los que se encuentran en el Sur de España (Granada y Almería).

NIQUEL

Producción.—La producción mundial de níquel (metal), pasa hoy día de las 65.000 toneladas, obtenidas de diferentes tipos de minerales (del 1,50 por ciento al 7 por ciento de níquel), de las cuales más del 90 por ciento de producción corresponden al Canadá que ha dado algunos años más de 2.000.000 de toneladas de minerales del 1,50 por ciento al 3 por ciento de níquel y el resto a Nueva Caledonia que produce unas 200.000 toneladas de minerales del 3,50 al 7 por ciento de níquel, y la India, a Estados Unidos, Noruega, Alemania, Francia y Grecia, aunque estos seis últimos con mucha menos producción.

Minerales.—Los minerales que se explotaban hasta el año 1854 para la obtención del níquel eran, la «millerita» (NiS) la «níquelina» (NiAs), la «cloantita» (NiAs₂) y la «gerdosfita» o «disomosa» (Ni AsS), cuya producción es muy baja pues son minerales de rocas profundas que se encuentran muy raras veces en superficie en la naturaleza, y muy diseminados en la roca que les sirve de caja.

Posteriormente, hacia el año 1854, se comenzaron a explotar las «pirrorinas níquelíferas» o «piritas magnéticas» (FeS) del Canadá, (que tienen del 0,50 por ciento al 4 por ciento de níquel), cuya producción aumentó de un modo rápido, el consumo del níquel.

Y por último en el año 1875, se incrementó esta producción con las «garnieritas» (silicato de níquel-magnesiano), cuya proporción en níquel puede variar del 1,50 por ciento al 7 por ciento según su concentración.

Yacimientos.—El papel metalogénico del níquel, es unas veces de afinidad con el hierro, con el cual se presenta unido en forma de cromita (hierro cromado) o al estado de sulfuros y arseniuros, otras en forma de sulfuro de hierro de «pirrotina», y otras veces de afinidad con el cobalto, con el cual suele ir también unido al estado de sulfuros o arseniosulfuros. Pudiendo ser considerado el níquel, tanto en uno como en otro caso, como un metal de profundidad, que se presenta generalmente en forma de inclusiones o segregaciones magnéticas, en rocas ultrabásicas de tipo eruptivo (peridotitas, noritas y gabros).

Así, pues, este metal puede encontrarse en cuatro tipos diferentes de yacimientos.

a).—*Yacimientos de inclusiones en las peridotitas, que toman una gran importancia cuando por fenómenos de alteración de la roca de caja, se producen segregaciones y concentraciones de origen secundario, como sucede en los importantes yacimientos de Nueva Caledonia, en los que las peridotitas, de ensteatitas (que ocupan más de 1/3 de la isla), se han serpentizado fuertemente, dando lugar a bolsadas o concentraciones de níquel (principalmente al estado de «garnierita») en asociación con el cobalto, manganeso y cromo, observándose mayores concentraciones en aquellos puntos donde han sido rellenadas las depresiones del terreno con arcillas rojas ferruginosas, producto de laterización de la roca de caja, por debajo de las cuales se suelen encontrar importantes bolsadas de minerales de este tipo. Siendo muy probable que estas formaciones sean de origen secundario, ya que las garnieritas no son más que una arcilla más o menos impregnada de silicatos de níquel, que se presentan generalmente rellenando las grietas y fisuras de dicha roca de caja, acuñándose generalmente, antes de llegar a los 80 o 100 metros, en cuya profundidad solamente se encuentran arseniuros y sulfuros de níquel, diseminados en la serpentina o en nódulos o concentraciones más o menos importantes dentro de esta misma formación.*

Corresponden a este mismo tipo de yacimientos los de Rusia (los Urales), Nueva Zelanda y California y los que tenemos en Es-

paña en las provincias de Málaga (Serranía de Ronda) y La Coruña (Cabo Ortegal).

b).—*Yacimientos de segregaciones periféricas de pirrotinas níquelíferas, en los gabros.* Siendo los yacimientos más importantes de este tipo los del Canadá (Sudbury) que son de origen profundo, en los que el mineral se ha debido concentrar sin duda alguna, por secreciones periféricas, procedentes de las noritas (gabros de hiperestena), que en forma de batolitos se presentan rellenando una gran cubeta (50 \times 24 metros) cuyo fondo está formado por pizarras, grauwadas, cuarcitas y gneis, estando recubiertas en su parte superior por tobas y pizarras muy metamorfozadas. Correspondiendo también a este tipo de formación otros yacimientos de Noruega, Italia (Piamonte) y España (Zaragoza).

c).—*Yacimientos de impregnaciones difusas, o filones capas,* en los que el mineral se presenta en forma de pirrotinas níquelíferas, en asociación con la pirita cuprífera y piritas de hierro, en contacto con terrenos metamórficos (pizarras, gabros, y gneis), a veces en forma de lentejones interestratificados, siendo la ley de estos minerales solamente del 1,50 por ciento de níquel y 0,50 por ciento de cobre. Los principales yacimientos son los de Suecia (Smaland), los de Stiria (Schladming) y Alemania (Mandfiel).

d).—*Y por último, los yacimientos de filones propiamente dichos,* en los que el níquel se presenta siempre asociado con el cobalto, acusándose su presencia por el color verde de la anabergueta (arseniato hidratado de níquel), y el color rosa de la eritrina (arseniato hidratado de cobalto), asociado al cuarzo, a la calcita, o a la siderosa. Siendo los yacimientos más importantes de este tipo, los de Checoslovaquia (Dobsina), Francia (Chalanches), Alemania (Scheeberg) y España (Gistain y Cármenes).

C R O M O

Producción.—La producción actual de minerales de cromo viene a ser de unas 450.000 toneladas de cromita (del 45 por ciento

al 52 por ciento de Cr_2O_3) de las cuales unas 200.000 toneladas de producción corresponden a Rhodesia, que es el país productor más importante, figurando después Nueva Caledonia, la India inglesa, Cuba, Rusia, Grecia y Japón. Siendo destinada solamente un 33 por ciento de esta producción a la fabricación de aceros especiales y el resto a revestido de hornos metalúrgicos y productos químicos.

Minerales.—El mineral que se explota generalmente es la «cromita» o «hierro cromado» ($\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}$), habiéndose explotado también algunas cantidades de «crocoisa» (PbCrO_4) aunque este es mineral de poco interés industrial, pues se presenta muy raras veces en la naturaleza.

Yacimientos.—El papel metalogénico del cromo es muy similar al del hierro, al que va casi siempre unido, así como al níquel, cobalto y platino (en el grupo de rocas básicas), y al plomo, bismuto, cobre y oro (en el grupo de rocas ácidas).

a).—Al primer grupo corresponden los yacimientos de cromita que se encuentran en inclusiones y segregaciones en las peridotitas y serpentinas, en cuyo tipo están comprendidos los ya descritos de Nueva Caledonia, y en los que el cromo suele presentarse en forma de nódulos o concreciones de diferentes dimensiones diseminados en la roca, a veces formando pseudofilones y presentando principalmente concentraciones en los puntos donde las serpentinas han alcanzado su mayor descomposición, sobre todo si ha sido arrastrado mecánicamente por laterización de la roca de caja, y concentrado en las hendiduras y grietas de dicha roca. No obstante lo cual se encuentra generalmente este mineral muy diseminado, por lo cual es muy difícil poderlo explotar a profundidades mayores de 40 a 50 metros.

A este tipo de yacimientos corresponden también los que se explotan en Rhodesia, el Canadá, la India inglesa, Rusia (Los Urales), Grecia (Thessalia) y los de España (Málaga y La Coruña) anteriormente citados.

b).—Al segundo grupo corresponden los yacimientos de filones ácidos,

en relación con las granulitas, en los que el mineral (Crocoisa) ha debido de ser depositado por fumarolas cloro-cromicas sobre sales de plomo, con el cual se ha depositado. Siendo los principales yacimientos de este tipo los de Rusia (Berezowsk), Suiza y el Transvaal.

SILICIO

Producción.—El consumo mundial de ferrosilicio, viene a ser de unas 60.000 toneladas por año, habiendo sido obtenido con el Silicio producido por reducción del cuarzo en el horno eléctrico, con carbón de madera adicionándole CaO y Mn_3O_4 , separándolo después de sus impurezas con ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico, con lo que se obtiene un producto del 90 al 91 por ciento de Si, 6 a 7 por ciento de Fe, 0,08 por ciento de Mn, 2 por ciento de Al, 0,02 de Ph y 0,2 por ciento de carbono, que es el producto que se emplea para la fabricación de sus ferroleaciones.

Minerales.—El silicio se encuentra con gran profusión en la naturaleza, sea al estado de sílice (cuarzo, arenas cuarzosas, sílex, calcedonias, jaspes, onix, pedernal, ópalos y cristal de roca), aún cuando el único elemento que se emplea para la fabricación de los ferrosilicios es el cuarzo, por ser el mineral más puro.

Yacimientos —El papel metalogénico del silicio es análogo al del estaño, con el cual se encuentra algunas veces asociado formando generalmente parte de los filones de origen hidrotermal como producto de relleno de las grietas y hendiduras de las rocas hipogénicas y fallas producidas en los terrenos más modernos, como consecuencia de los levantamientos orogénicos.

Sus yacimientos son por lo tanto tan numerosos, que sería superfluo entrar en detalles de su descripción.

También forma parte de numerosas formaciones geológicas, en compuestos más o menos puros, y en los silicatos y arcillas, en combinación con la alúmina y otros minerales, pero no son de aplicación en este caso.

VANADIO

Producción.—La producción de minerales de Vanadio, viene a ser de unas 6.000 toneladas al año, dada la pequeña proporción en que entra a formar parte de los aceros el vanadio, y las pocas aplicaciones que éste tiene fuera de dicha industria.

Los principales países productores son el Suroeste Africano británico, Rhodesia, Perú y los Estados Unidos.

Minerales.—El vanadio se encuentra muy diseminado en la naturaleza, aunque en pequeñas cantidades, siendo los minerales que hoy se explotan para su beneficio y la obtención de las ferroaleaciones, la «roscoelita» (silicato de aluminio y vanadio) que da el 28 por ciento de ácido vanádico, la «vanadita» $(\text{Pb Cl}_2 \cdot 3\text{Pb}_2 \cdot (\text{V O}_4)_2$ o clorovanadato de plomo, con el 17 por ciento de ácido vanádico, la «descloizita» $(\text{PbO} \cdot \text{ZnO})_4 \text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ con el 22 por ciento de ácido vanádico, la «motramita» $(\text{Pb} \cdot \text{Cu})_3 (\text{V} \cdot \text{O}_4)_2$ y la «patronita» (VaS_3) que contiene cerca del 40 por ciento de sulfuro de vanadio, que es el mineral más apreciado hoy día en el mercado.

Yacimientos.—Por lo mismo que es un elemento muy diseminado en la naturaleza, y que una vez oxidado es fácilmente disuelto por las aguas meteóricas (0,5 grs. de $\text{Va} \cdot \text{O}_4$ por litro de agua), se producen fácilmente ciertas concentraciones, que han dado lugar a los siguientes tipos de yacimientos.

A).—*En secreciones vanadíferas en las rocas básicas*, como sucede en ciertas magnetitas, y hierros cromados, de este tipo de criaderos.

B).—*En filones sulfurados de vanadio*, como sucede en el Perú (Minasraga), donde el mineral patronita se presenta en venas, que cortan en sentido transversal a las pizarras que las sirven de caja, en relación con diversas rocas eruptivas terciarias (traquitas, andesitas, microgranitos y diabasas), que se encuentran próximas a estas formaciones.

C).—*En afloramientos vanadíferos de filones metálicos*, como sucede

en algunas minas de plomo, cobre y de bismuto, en las que se presentan ciertas concentraciones de vanadatos de plomo, sumamente interesantes, pero que desaparecen rápidamente a profundidad. Como sucede en los yacimientos de Arizona (Castle Dome), Méjico (Monte Caballos y Magdalena), Argentina (Cruz del Eje, de la provincia de Córdoba y en la provincia de San Luis), Chile (Talcuna), Rusia (Los Urales) y España (Santas Martas).

B).— *Yacimientos sedimentarios, en los que el vanadio va asociado a las areniscas y a las micas, con uranio (carnolitas), como sucede en el Colorado (Placerville) y en ciertas bauxitas, como en Francia (Saone-et-Loire), o con el cobre y el cobalto, como en Rusia (Los Urales) y otras veces en ciertas hullas y asfaltos vanádiferos, como los del Perú, (Yaulim Matucan Casalapca, Huarí, y Huacanyo), en los Estados Unidos (Arkansas, Nevada y Oklahoma), y Argentina (San Rafael, provincia de Mendoza), en los que se aprovechan las cenizas residuales como un buen mineral de vanadio, que contienen a veces desde el 5 por ciento al 38 por ciento de este metal.*

TITANO

Producción.—La producción mundial del titano metálico viene a ser de unas 16.000 toneladas por año. Siendo los principales países productores la India, el Senegal, Noruega, Brasil, Estados Unidos, Canadá, Portugal y España, estos cuatro últimos con bastante menos producción que los primeros.

Minerales. — El mineral de titano más rico es el «rutilo» (TiO_2), que se encuentra muy raras veces en la naturaleza, y la «ilmenita» o «hierro titanado» ($\text{Ti. Fe}_2 \text{O}_3$) que contiene generalmente del 50 al 52 por ciento de TiO_2 .

Yacimientos.—*El Titano se presenta unas veces asociado con el hierro en forma de ilmenita, como producto de secreción de rocas básicas (gabros) y otras asociados al estaño (casiterita) y circón, al estado de rutilo, en rocas ácidas (granolitas, pegmatitas y granito).*

a).—Al primer tipo corresponden los yacimientos de Escandinavia, Finlandia, Canadá, Estados Unidos y Brasil.

b).—Al segundo tipo corresponden los yacimientos de Noruega (Gonge), Estados Unidos (Condado de Nelson y Morbiham), Francia (Bajos Pirineos y Loire) y España (Guadalajara y Madrid).

c).—También se explota el titano por lavado de algunas arenas de playa y aluviones auríferos, en los que se encuentran a veces grandes concentraciones, por arrastres mecánicos procedentes de detritus de rocas básicas, como sucede en España (Galicia y Canarias) y en las playas del Golfo de Guinea y del Senegal.

GLUCINIO

Producción y minerales.—La producción mundial del glucinio es muy limitada, dado su escaso consumo, encontrándose generalmente al estado de «berilo» o «esmeralda» ($6\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{GIO}$) o sea al estado de silicato de alumina con glucinio (del 7 al 11 por ciento de glucinio).

Yacimientos.—El glucinio se presenta a veces en cristales más o menos gruesos, del sistema exagonal, incoloros o amarillos (berilos) intercalados en rocas pizarreñas del estrato cristalino y a veces en calizas cristalinas, sumamente metamorfizadas.

Los principales yacimientos de berilo son los de Francia (Limoges) y Madagascar, encontrándose también en España, en Galicia y Andalucía

CIRCONIO

Producción y minerales.—La producción de circonio es también muy reducida, dado su escaso consumo, encontrándose generalmente al estado de silicato, conocido con el nombre de «Circon» ($\text{Zr O}_2\text{SiO}_2$) y muy raras veces al estado de óxido, conocido con el nombre de Circonia.

Yacimientos.—El circón se presenta generalmente en inclusiones en gran

número de rocas como son el granito la sienita y pizarras cristalinas. Siendo sus yacimientos más importantes los de las sienitas nefeliníticas, conocidas con el nombre de «Circonianas», de Noruega, Suecia, Groenlandia, Montes Ilmen, del Colorado y de la Carolina, en los cuales el circón se encuentra asociado al berilo, corindon, la turmalina, el topacio y el hierro titanado.

Ciertos filones de sienita micácea constituyen verdaderas minas de circón, a veces mezclado con monacita, samrskita y columbita. Siendo explotado este mineral en La Carolina del Norte, en aluviones que suministran bastante monacita (cerca de Green River, Henderson County), encontrándose también este mineral en varios aluviones que se explotan en el Brasil y Ceilán, así como en España, en ciertas playas de Galicia (Balarés), asociado con la ilmenita, y en los aluviones auríferos del río Alagón (Cáceres), donde también se presenta la ilmenita, así como en otros aluviones auríferos de La Coruña (Corcoesto), donde va asociado a otros silicatos de tierras raras.

IV.—Yacimientos españoles

Una vez conocidos los rasgos característicos de los diferentes tipos de yacimientos de estos metales, vamos a citar los que tenemos en España, que puedan dar lugar a explotaciones de tipo industrial.

M A N G A N E S O

El manganeso se encuentra en España con bastante profusión, unas veces en forma de silicatos y carbonatos de manganeso, de baja ley (del 28 al 35 por ciento de Mn), muy silíceos, y otras veces al estado de óxidos, que son los minerales más ricos (con el 50 al 60 por ciento de Mn).

Al primer tipo corresponden todos los minerales que se explotan en las provincias de Huelva y Sevilla, en unas corridas de «jaspes

manganesíferos», en los que el manganeso se presenta al estado de «rodonita» y «dialoguita» en forma de lentejones o masas columnares, rellenando los huecos y caries, que se debieron producir en dichos «jaspes manganesíferos» al ser atacados por las solfataras y aguas hidrotermales, de la época de formación de este yacimiento, que sirvieron de vehículo para llevar a las partes altas de la corteza terrestre esta clase de minerales.

Esta formación de «jaspes manganesíferos» que ocupa grandes extensiones de terreno (a veces con corridas de más de 3.500 metros), se presenta surcando las pizarras silíceas del siluriano, en íntima relación con grandes rocas eruptivas (pórfiros y diabasas), que coronan por ambos lados estas formaciones, de las que parten a veces en forma de apófisis o secreciones laterales, como producto de escoriación de estas masas eruptivas cuyas formaciones tienen sin duda alguna un gran valor industrial, sobre todo si se tiene en cuenta la zona de los minerales ricos o peróxidos de manganeso, que se presentan por encima del nivel hidrostático, que ha dado un gran tonelaje de pirolusitas y acerdasas, no obstante estar ya esta zona desgraciadamente bastante agotada, debido a la codicia de sus explotadores que sólo han procurado arrancar las zonas ricas de estos filones.

Las principales corridas de «jaspes manganesíferos» de la provincia de Huelva, son las de Zalamea la Real (Minas Guadianas, El Castillo, Santa Agueda, Postorera y otras), las de Almonaster la Real (Minas Soloviejo, La Joya y otras) y las de Calañas (Minas La Calañesa, Rocío, La Familia y otras), las cuales explotadas convenientemente pueden dar de 25.000 a 30.000 toneladas de minerales del 29 al 35 por ciento de manganeso, y un 17 por ciento al 25 por ciento de sílice, o sea silicatos y carbonatos puesto que la mayoría de las explotaciones están ya por debajo del nivel hidrostático.

Cuya producción podría sostenerse durante varios años, dada la importancia que tienen estas formaciones, que han sido muy poco reconocidas, por lo que puede asegurarse existe aún por ex-

plotar un importante tonelaje de mineral, que aunque pobre y excesivamente silíceo puede ser una excelente reserva para el desarrollo de nuestra siderurgia e industrias de aceros especiales, sobre todo si se tiene en cuenta que podría rebajarse bastante las silices de estos minerales sometiéndolos a un lavado y concentración previa, lo que no se ha hecho hasta la fecha, y se mezclan convenientemente con otros minerales más ricos y menos silíceos, según veremos pueden obtenerse también en España.

En la provincia de Sevilla, se observan también algunos aglomeramientos de «jaspes manganesíferos», en el término de Castillo de las Guardas, pero de mucha menor importancia que los anteriormente descritos.

En la provincia de Teruel, en los términos de Camañas, Crivillen y Gargallo, hay unos *yacimientos de tipo extratiforme*, en los que los minerales de Manganeso (del 48 por ciento al 60 por ciento de Mn) se presentan en forma de «pirolusita» «acerdasa» y «psilomelana», de aspecto terroso y a veces «pisolítico, en lecho de arcilla negra manganesífera de 0,80 a 2 mts. de espesor, formando bolsadas, o lentejones de bastante extensión, interestratificados (en estratificación concordante), entre las calizas Urgoaptenses, que hacen de yacente o muro del criadero, y unos bancos de pudingas de elementos calizos (probablemente del eoceno) que hacen de techo, las cuales van recubiertas a su vez por bancos de areniscas y calizas del Eoceno. Presentándose a veces estos bancos con grietas o cuevas rellenas con dichas arcillas manganesíferas.

Las principales minas de estos grupos son: en el término de Camañas «La Marte» de 288 hectáreas, en el término de Crivillen la «Vigilante», «Africana» «Bienvenida» y otras, con un total de 197 Ha. en el término de Gargallo, las minas «Bólido» y «Ampliación a Bólido» con un total de 40 hectáreas, en el término de Los Olmos, «La Mejor» de 100 Ha., en el término de Valacloche, la «Tres Amigos» y «Ampliación a Tres Amigos» con un total de 60 Ha. y en el término de Armillas, la mira «San Eduardo» de 300 Ha.

ocupando todas estas en total una extensión de 985 Ha. de las cuales la mayoría de ellas están aún por reconocer.

No obstante esto podría darse con muy poco costo antes de un año una producción media de 6.000 a 7.000 toneladas de minerales ricos (del 48 al 50 por ciento de Manganeso con muy poca sílice), que pedirían mejorar notablemente la calidad de los minerales de Huelva, convenientemente mezclados con ellos.

También existen otras minas de manganeso de menor valor industrial, en las provincias de Zaragoza (término de Alarba) y Huesca (término de Estopiñán), en las que el mineral se presenta en filones capas de 2 a 4 m. de potencia, interestratificados en las pizarras del cambriano, que han dado minerales del 40 al 50 por ciento de manganeso en su parte alta, aunque a medida que se profundiza los minerales resultan más pobres (del 28 por ciento al 35 por ciento de Mn), y más silíceos, por entrar rápidamente en la zona de los carbonatos y silicatos de manganeso de esta formación.

Otras minas que también han dado durante varios años una buena producción de manganeso con minerales bastantes ricos, son los de la provincia de Oviedo, de los términos de Covadonga (Concejo de Cangas de Onís) y Sierra de Dóbro (Concejo de Cables) en las que el mineral explotado se presenta en forma de filones capas, bastaste irregulares, al pie de la «caliza de montaña» (carbonífero inferior) y al contacto del «marmol griote» (devoniano superior), interestratificado de este, por «matasomatosis», producida por avenidas de aguas hidrotermales, cargadas de sales ferromanganesíferas, que han depositado estos minerales, por disolución de las partes blandas de la roca y relleno inmediato de los huecos producidos, en los que unas veces dominan los elementos ferruginosos (hematites del 65 por ciento de Fe), otras los elementos ferromanganesíferos (hierros manganesíferos del 8 por ciento de Mn), y otras en fin los elementos manganesíferos (peróxidos de manganeso con el 54 por ciento de Mn). Siendo todos estos minerales de tipo ferruginoso, pero casi exentos de sílice, por lo que son minerales muy apreciados en el mercado. Por lo tanto es una

lástima que estos criaderos se encuentren hoy día casi agotados, aún cuando en realidad puede decirse que están poco reconocidos y aún podía darse el caso de que se descubriesen nuevas bolsas de mineral, si se hiciera un reconocimiento metódico de los mismos, lo que sería de gran interés.

De este mismo tipo son otros yacimientos de menor importancia de la provincia de León (La Uña), cerca de Asturias, en los que los minerales que allí se encuentran son de poca Ley, por cuyo motivo no se han explotado.

Y por último, en la provincia de Ciudad Real (Daimiel y Bolaños), existen unos yacimientos manganesíferos muy parecidos a los del Caucaso, en los que el mineral se presenta interestratificado entre dos capas de arcillas miocenas, casi horizontales, formando un lecho de arcillas negras de 1 a 2 metros de potencia, con minerales del 40 al 60 por ciento de mangenese, y el 1 al 15 por ciento de sílice, los cuales han sido explotados en épocas anteriores, pero que al parecer están también todavía por reconocer.

TUNGSTENO

El tungsteno se encuentra muy poco diseminado en la naturaleza, por lo que sus minerales son escasos en el mercado, no obstante lo cual en España se encuentra en varios yacimientos, en los que el mineral que se explota generalmente en el «wolfram», aunque algunas veces suele presentarse también la «schelita», en las partes altas de estos criaderos.

Los principales yacimientos de wolfram, se encuentran en las sierras hercinianas que forman el «gran escudo español», enclavado al Noroeste y Oeste de nuestra península, formado en su mayor parte por rocas hipogénicas antiguas (granitos, granulitas y pegmatitas) y rocas sedimentarias del estrato-cristalino, cambriano y siluriano, fuertemente plegadas y resquebrajadas, por las presiones sufridas por los levantamientos de la época caledoniana, correspondiendo a esta gran corrida, los siguientes yacimientos, que

citaremos a continuación por su orden correlativo, de Norte a Sur.

En la provincia de La Coruña, los filones más interesantes se encuentran en Lousame (minas de San Finx), cuyo grupo viene a dar unas 75 o 100 toneladas al año de wolfram del 70 por ciento de ácido tungstíco, y en los términos de Arosa (grupo minero del Boiro), Noya (mina Santa Cristina), y Buño.

En la provincia de Pontevedra, el grupo más importante es el de Silleda y Carbia, cuyas minas vienen a dar unas 300 toneladas al año de mineral con el 68 por ciento de ácido tungstíco, existiendo también minas de wolfram, aunque de menor importancia, en Lalín, Forcarey, Cerdero, Noya, Gudiña, Ribadavia, Rubiana y Arosa de Boiro.

En la provincia de Orense, los principales filones se encuentran en Villardevos (grupo de Villardeciervos), que ha dado alguna producción de schelita (de 6 a 10 tons. en un año), y en la que los filones presentan muy buen aspecto, siendo los otros grupos donde se produce wolfram (unas veces en aluvión y otras en filón), en Irijo, Beariz, Avión, Arnoya, Castelle, Castrele de Miño y Gome-sande.

En la provincia de Salamanca, los principales yacimientos son los de Barruecopardo, que hasta ahora solo han sido explotados por «aventureros» (paisanos del terreno dedicados a la rebusca del wolfram en labores superficiales, o en aluviones), pero que hoy día se están poniendo en explotación, yendo después en orden correlativo de importancia los de El Payo, Navasfrias, Villar de Puerco y San Pedro de Rezados.

En la provincia de Cáceres, también abundan los filones de wolfram, principalmente en Acebo, Torrecilla de los Angeles, Hernan Perez, Gata, Montehermoso, y Perales del Puerto, cuyos yacimientos puede decirse están todavía por reconocer por no haber sido explotados hasta la fecha más que por «aventureros».

En la provincia de Badajoz, se han explotado también minas de wolfram, en el Valle de la Sereña (cerca de Villanueva de la Sere-

na), en donde se han reconocido cuatro filones de cuarzo, bastante metalizados.

Y por último, fuera ya de esta corrida vamos a mencionar otras minas encontradas en las provincias de Madrid (Hoyos de Manzanares y Colmenar Viejo), Córdoba (Montoro), Jaén (Baeza), cuyos resultados prácticos son desconocidos todavía, por estar en período de reconocimiento todos ellos.

En todos estos yacimientos *el mineral se presenta unas veces en filones de cuarzo de tipo hidrotermal*, encajando en granito o en granulitas, y otras en forma de aluvión, como producto de concentración de derrubios de filones mineralizados, pero de todos ellos los más interesantes son los de filones de cuarzo que arman en granulitas, de micas rosas y color lila, como son las de Barruelopardo, en donde los filones presentan muy buen aspecto.

M O L I B D E N O

También el molibdeno se encuentra muy escaso en la naturaleza, no obstante lo cual nosotros tenemos también algunos yacimientos en España, que pueden dar una interesante producción.

Estos son de una parte, casi todos los de wolfran antes mencionados, en los que la «molibdenita» se presenta asociada con este metal, en mayor o menor proporción, siendo en algunos casos de interés industrial su explotación.

Y de otra parte, y estos son sin duda alguna, tal vez los más interesantes, *el molibdeno se presenta en forma de «wulfenita» siguiendo una gran corrida de filones de contacto y filones capas*, que ocupan una gran extensión de terreno, dentro de las provincias de Granada y Almería.

Estos filones, cuya mineralización principal es la galena, con la cual va el molibdato de plomo asociado, principalmente en los afloramientos y partes altas del filón (por encima del nivel hidrostático), suele presentarse en tres formaciones distintas u horizontes geológicos, a saber:

El primero, que es el más importante, corresponde a las calizas negras y grises de Trias, que coronan casi todas las sierras triásicas de dicha región meridional de España, *presentándose la wulfenita repartida en bolsadas* de más o menos importancia, dentro de este banco calizo (que se presenta sumamente plegado), presentándose estas bolsadas en forma muy irregular.

El segundo corresponde a unos lechos de caliza blanca algo arenosa, (amarrillenta en la superficie), de formación tubular, en los que *la wulfenita se presenta en forma de filones capas*, de 25 a 60 centímetros de espesor, formados por arena amarillenta, en la que el mineral es imposible verlo hasta después de haber lavado esta arena.

Y el tercero, corresponde a unos bancos calizos, marmóreos correspondientes probablemente al estrato-cristalino, sumamente fisurados, *en los que el mineral se presenta rellenando estas fisuras*, mezclado con arenas calcáreas.

Los principales yacimientos de este tipo, son los de Velez de Benaudalla, Quintanar y Cherches, de la provincia de Granada, existiendo además otros en esta provincia, como son los de Albuñuelas, que tienen una formación muy extensa, y los de Güejar Sierra.

También son de algún interés los de Rambla del Pino y Ribera de Oria, de la provincia de Almería, aunque de menor extensión que los anteriores.

Y por último, citaremos como casos curiosos unos filones de cuarzo que se explotaron, en el pueblo de Salave, cerca de Tapia de Casariego, de la provincia de Oviedo, en los que el mineral que es la «molibdenita» se presenta en pequeñas cantidades, se encuentra en filones de cuarzo, que arman en granito, y otros de Hoyos de Manzanares, de la provincia de Madrid, también con filones de cuarzo que arman en granito, en los que el mineral que se encuentra, es el *molibdato de plata*, mineral muy poco conocido, aunque en proporciones tan pequeñas que apenas si paga los gastos de explotación.

NIQUEL

Otro de los metales que abunda poco en la naturaleza es el níquel, no obstante lo cual nosotros tenemos en España, varios tipos de yacimientos en los que puede ser explotado este metal.

Corresponden los más importantes a la provincia de Málaga (Serranía de Ronda), en los que se encuentra el mineral «garnierita» de 1,50 al 3,50 por ciento de níquel, en la superficie, y algunas veces la «níquelina» y «cloantita», del 8 por ciento al 16 por ciento de níquel, en niveles más bajos (principalmente en Carratraca y Alora), *cuyos minerales se presentan como producto de segregación de las peridotitas, al transformarse en serpentinas por hidratación*. Presentándose generalmente este mineral asociado a la «cromita», con la cual forma verdaderas concreciones o bolsadas, de difícil localización, por ir estas secreciones sumamente diseminadas.

A este mismo tipo de formaciones corresponden otras minas de esta provincia, situadas en Oján, las del Cabo de Ortegá, de La Coruña, y las de El Aramo y Cabrales de la provincia de Oviedo cuya importancia se desconoce aún por estar todavía por reconocer.

Hay otros yacimientos de níquel en España, que corresponden más bien al *tipo de formación filoniana*, como son los de Huesca (minas de Gistaín y Gallinero), y los de la provincia de León (minas La Profunda y La Providencia), del término de Cármenes, en los que el mineral en forma de sulfuro y sulfoarseniuro de níquel, se presenta asociado con el cobalto, en formaciones columnares de sustitución de la caliza (carbonífera o devoniana), en la que debido a las inyecciones termales y ataque corrosivo de las solfataras, que han depositado estos minerales, se observa siempre que ha sufrido una fuerte dolomitización, lo que ha favorecido sin duda alguna la formación de estos criaderos.

También hay un yacimiento en la provincia de Zaragoza (Tara-zona), en el que el níquel se presenta asociado a la «pirrotina» en secreciones *periféricas* de la roca básica eruptiva (noritas y gabros), que

le sirve de base, cuya importancia se ignora aún por estar todavía también por reconocer.

C R O M O

Los yacimientos de cromo más importantes de España, corresponden sin duda alguna a la provincia de Málaga (Serranía de Ronda), donde no obstante la escasez con que se encuentran estos minerales en la naturaleza, se han reconocido allí *algunos lentejones de cromita* (del 28 al 43 por ciento de ácido crómico), en asociación con las garnieritas, *que como producto de secreción*, se encuentra en las peridotitas serpentinizadas, que en forma de batolitos aparecen en varios puntos de esta cordillera (Sierra de Aguas y Sierra Bermeja).

También en La Coruña (Cabo Ortegal), es muy posible se presenten algunas bolsadas de cromita, ya que en la composición de las rocas (peridotitas y serpentinas), que se forman esta gran macizo, se acusa también la presencia del cromo.

S I L I C I O

Siendo tan abundante en la naturaleza este elemento, y dada la facilidad con que puede encontrarse minerales de cuarzo lo suficientemente puros, para que puedan ser empleados en la fabricación de los ferrosilicios, no haremos aquí mención de estos yacimientos, citando tan sólo, algunos de los que se extraen arenas del 98 al 99 de Si. O₂ para la industria del vidrio, como son:

En la provincia de Palencia, los de Arija, en la de Burgos, los de Haro, en la Coruña, los de Lage, y otros varios de diferentes provincias de España, entre las que figura también la provincia de Oviedo, que tiene arenas cuarcíferas muy puras, en varios puntos.

V A N A D I O

Los únicos yacimientos de vanadio que se conocen hoy día en España son los de la provincia de Badajoz, de los cuales el más

importante es el de Santas Martas, en el que este metal se presenta al estado de vanadato de plomo (con el 4 al 11 por ciento de $Va O_4$) en los afloramientos de unos filones de galena de los que solamente en el año 1910 se extrajeron 230 toneladas.

También en los términos de Alburquerque, Carlitos, Cheles y Alconchal, de esta misma provincia, se han reconocido algunas minas que tienen vanadio en sus afloramientos, pero se desconoce el interés que puedan tener por no haberse hecho en ellas un reconocimiento serio.

TITANIO

Los únicos yacimientos de titanio que se han explotado hasta la fecha en España, son los de Balarés, en la provincia de La Coruña, y el de Sande, de Canarias.

En ambos se extrae el titanio al estado de «ilmenita» de las arenas de la playa, donde se observa hay fuertes concentraciones de este mineral, que se beneficia con una ley del 50 a 53 por ciento de $Ti. O_2$.

También se han hecho varios reconocimientos en otras playas de la provincia de La Coruña, con excelentes resultados, entre las que se puede citar la de Cariño (Frente a Santa Marta de Ortigueira), que ha dado bastante buena proporción de ilmenita.

Asimismo se ha reconocido la presencia de este mineral en el lavado de las arenas auríferas del río Alagón de la provincia de Cáceres, en proporciones perfectamente beneficiables, sobre todo si se extraen éstas, como subproducto del lavado de las arenas, para extraer de ellas el oro.

GLUCINIO

El mineral de glucinio se encuentra en España con alguna profusión. (En Galicia en más de 50 puntos diferentes), se presenta generalmente en forma de «berilo». Siendo el único sitio donde se beneficia ac-

tualmente en Ornachuelos y Fuente Obejuna, en la provincia de Córdoba, *encontrándose generalmente este mineral en forma de gruesos cristales en medio de pegmatitas, como elemento de secreción de dicha roca.*

C I R C O N I O

Y por último el circonio es el elemento que menos abunda en la naturaleza, no obstante lo cual nosotros tenemos hoy día una pequeña producción de «circón», *el cual se extrae como subproducto del lavado de las arenas de ilmenita de la playa de Balarés (La Coruña), al beneficiar este mineral, con el cual se presenta asociado, en forma de pequeños cristales, pero en notable proporción.*

También ha sido observado este mineral en el lavado de las arenas de ciertos aluviones auríferos, en La Coruña (Corcoesto) que tiene en estudio el Instituto Geológico y Minero de España, en las que aparece el «circón» asociado con otros silicatos de tierras raras, de indudable valor industrial.



Con lo que damos por terminada esta Conferencia, no sin antes dar a Vdes. las gracias por la atención que me han prestado, y hacer resaltar la importancia que ha de tener para nuestra Nación, llegar a poder dar una producción normal de todos estos metales, tan necesarios para nuestro desarrollo económico y defensa nacional, lo que como puede verse es perfectamente posible, dado el panorama geológico que acabo de exponer.