

## Tesis de Posgrado

# Contribución al estudio de algunos minerales de cobre del Famatina

Tallibart, Benjamín

1912

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Tallibart, Benjamín. (1912). Contribución al estudio de algunos minerales de cobre del Famatina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0074\\_Tallibart.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0074_Tallibart.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Tallibart, Benjamín. "Contribución al estudio de algunos minerales de cobre del Famatina". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1912.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0074\\_Tallibart.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0074_Tallibart.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

CONTRIBUCION AL ESTUDIO

DE ALGUNOS MINERALES DE

COBRE DEL FAMATINA

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN QUÍMICA  
POR EL EX-ALUMNO

BENJAMIN TALLIBART

de la Oficina Química Nacional de la Capital.



BUENOS AIRES  
EST. TIP. S. CARBONÉ - CORRIENTES 638  
1912

•

*La Facultad no se hace solidaria de las opiniones vertidas en las Tesis.*

**PADRINO DE TESIS**

**PROFESOR**

**Doctor ENRIQUE HERRERO DUCLOUX**

A MI MADRE

A LA MEMORIA  
DE DON PEDRO FEDERICO LABRÓ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

## Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

### Académico Honorario

Ingeniero Guillermo White

### Académicos

Ingeniero Santiago Brián

Doctor Juan J. J. Kyle

- Manuel B. Bahía

Ingeniero Otto Krause

- Juan F. Sarhy
- Luis A. Huergo
- Eduardo Aguirre
- Emilio Palacio
- Julián Romero

Doctor Eduardo L. Holmberg

Carlos M. Morales

- Atanasio Quiroga
- Angel Gallardo
- Ddefonso P. Ramos Mejía

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

**Decano**

Ingeniero Juan F. Sarhy

**Vice-Decano**

Ingeniero Agustín Mercan

**Consejeros**

Ingeniero Luis A. Huergo

Eduardo Aguirre

Mauricio Durrieu

Fernando Segovia

Juan F. Sarhy

Otto Krause

Julián Romero

Luis J. Dellepiane

Eduardo Latzina

Agustín Mercan

Doctor Carlos M. Morales

Hdefonso P. Ramos Mejía

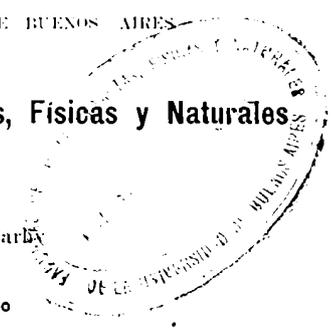
Angel Gallardo

Ingeniero Julio Labarthe

Lorenzo Amespil

**Secretario**

Ingeniero Pedro J. Coni



### Profesores Titulares

Ing.	Juan de la C. Puig . . . .	Complementos de Aritmética y Álgebra.
»	José S. Sarhy . . . . .	Compl. de Geometría y Trigonometría.
»	Carlos Daquet . . . . .	Dibujo lineal y á mano levantada.
»	Carlos D. Duncan . . . . .	Álgebra superior y Geometría analítica.
»	Juan F. Sarhy . . . . .	Geometría proyectiva y descriptiva.
»	Juan Rospide . . . . .	Construcción de edificios.
»	Alfredo J. Orfila . . . . .	Dibujo lavado de planos.
»	Juan Darquier . . . . .	Estática gráfica.
»	Lorenzo Amespil . . . . .	Geometría descriptiva aplicada.
»	Iberio San Román . . . . .	Topografía.
»	Emilio Candiani . . . . .	Cálculo de construcciones.
»	Julio Labarthe . . . . .	Resistencia de materiales.
Dr.	Cristóbal Hicken . . . . .	Miner. y Geolog.
Ing.	Horacio Pereyra . . . . .	Dibujo de Arquitectura.
»	Vicente Castro . . . . .	Construcciones de mampostería.
»	Julían Romero . . . . .	Hidráulica.
»	Luis J. Dellepiane . . . . .	Geodesia.
»	Eduardo Latzina . . . . .	Const. de máquinas.
»	Agustín Mercat . . . . .	Hidráulica agrícola ó Hidrología.
»	Domingo Selva . . . . .	Construcciones de Arquitectura.
»	Fernando Segovia . . . . .	Construcción de Puentes y techos.
»	Alberto Schneidewind . . . . .	Ferrocarriles.
»	Eduardo Latzina . . . . .	Reguladores, turbinas y máq. agrícolas.
»	Eduardo M. Lanús . . . . .	Arquitectura, 1.º curso.
»	Pablo Hari . . . . .	Arquitectura, 2.º curso.
»	Mauricio Durrieu . . . . .	Proyectos. Dirección de obras. Legisl.
»	Jorge Duclout . . . . .	Teoría de Elasticidad.
Dr.	Mannuel B. Bahía . . . . .	Compl. de Física y Electrotécnica.
»	Ignacio Aztiria . . . . .	Complementos de matemáticas.
»	Ildefonso P. Ramos Mejía . . . . .	Cálculo infinitesimal 1.º y 2.º cursos.
»	Atanasio Quiroga . . . . .	Qím. anal. de mat. de construcciones.
»	Cárlas M. Morales . . . . .	Mecánica racional.
»	Eduardo L. Holmberg . . . . .	Botánica general.
»	Angel Gallardo . . . . .	Zoología.
»	Enrique Herrero Ducloux . . . . .	Química analítica especial.
»	Julio J. Gatti . . . . .	Química orgánica.
»	Cristóbal M. Hicken . . . . .	Botánica 1.º y 2.º curso.
»	Horacio Damianovich . . . . .	Físico-química.
Ing.	Hauman Merk . . . . .	Microbiología.
»	José A. Medina . . . . .	Física general.
»	Alfredo Galtero . . . . .	Construcciones 1.º curso.
»	Arturo Prins . . . . .	Historia de la Arquitectura.
»	Enrique Poussart . . . . .	Complementos de química.
Arq.	Ricardo Martí . . . . .	Dibujo lineal y á-mano levantada.
»	Julio Dormal . . . . .	Arquitectura 4.º curso.
»	Eduardo Le Monnier . . . . .	Arquitectura 3.º curso.
»	Alberto M. Coni . . . . .	Perspectivas y Sombras.
Don	José Carmignani . . . . .	Dibujo de ornato.
»	Ernesto de la Cárcova . . . . .	Dibujo de figura.
»	Toronto Tasso . . . . .	Modelado.

Profesores sustitutos

Ing.	Ricardo Silveyra.....	} Complemento de Aritmética y Algebra.
»	Antonio Babuglia.....	
»	Ignacio Aztería.....	} Compl. de Geometría y Trigonometría.
»	Juan V. Passalacqua.....	
»	Emilio Rebuerto.....	
»	Alfredo Oliveri.....	} Dibujo lineal y á mano levantada.
»	Juan Rospide.....	
»	Antonio Rebuerto.....	} Geometría proyectiva descriptiva.
»	Alberto C. Palacio.....	
»	Octavio S. Pico.....	
»	Benjamín Sal.....	
»	Delfín Rabinovich.....	} Cálculos infinitesimal 1.º y 2.º cursos.
»	José A. Medina.....	
»	Arturo Prins.....	} Historia de la Arquitectura.
»	Nicolás Martelli.....	
»	Carlos Whauters.....	} Dibujo lav. de planos.
»	Juan de la C. Puig.....	
»	Salvador Velasco.....	} Construcciones de mampostería.
»	Eugenio Sarrabayrouse..	
»	Luis Curutchet.....	} Constr. de mamp. Topog. y Geodesia.
»	Manuel A. Vila.....	
»	Atanasio Iturbe.....	} Cam. ordinarios y mat. de construc.
»	Pablo Nogués.....	
»	Tomás González Roura..	} Mecánica racional.
»	Evaristo V. Moreno.....	
»	Eduardo Volpatti.....	} Resistencia de materiales.
»	Mauricio Durrieu.....	
»	Iberio San Román.....	} Tecnología del calor.
»	Enrique Hermitte.....	
»	Alberto Taiana.....	} Hidráulica.
»	Pedro Torre Bertucci....	
»	Eduardo Latzina.....	} Constr. de máq. y Teoría de los mecañ.
»	Guillermo E. Cock.....	
»	Sebastián Ghigliazza....	} Tecnología mecánica.
»	Agustín Mercau.....	
»	Fernando Segovia.....	} Constr. de edificios.
»	Arturo M. Lugones.....	
»	Benito Mamberto.....	} Estática gráfica.
»	Alejandro Foster.....	
Dr.	Alfredo Galtero.....	} Minerología y Geología.
Ing.	Icilio Chuocci.....	
Dr.	Ignacio Aztería.....	} Reguladores, turbinas, máq
		} Tecnología mecánica.
		} Const. de máq. y Teoría de la Elast.
		} Electrotécnica.
		} Const. de máq. y Puertos y Canales.
		} Construcción Puentes y Techos.
		} Construcción Puertos y Canales.
		} Ferrocarriles.
		} Geom. descript.—Perspect. y sombras.
		} Hidráulica agrícolas. Hidrología.
Dr.	Alfredo Galtero.....	} Construcciones de Arquitectura.
Ing.	Icilio Chuocci.....	
Dr.	Ignacio Aztería.....	} Proyectos, Direc. de Obras, Legislat.
		} Compl. de arit. y álgebra. Trigonomet.
		} y compl. de Geomet. y Alg. superior
		} y Geom. analítica.
Dr.	Francisco P. Lavallo....	} Compl. de Química.
»	Marcos M. Gutiérrez....	
»	Enrique Fynn.....	
»	Guillermo Schaefer.....	
»	Atilio A. Bado.....	} Química orgánica.
»	Claro C. Dassen.....	
		} Geomet. descript. aplicada. Teoría de
		} los mecanis. y Matem. superiores.
Arq.	Eduardo Le Monnier....	} Arquitectura 4.º
Ing.	Antonio Rebuerto.....	
Arq.	Carlos Carbó.....	} Geom. proyect. y descriptiva.
»	Luis P. Esteves.....	
»	Alberto M. Coni.....	} Arquitectura.
		} Perspectivas y sombras.

Agr. Alejandro Olazábal.....	Topografía.
Don Juan N. Hubert.....	Compl. de Física.
> Emilio M. Flores.....	
Dr. Enrique Fyuu.....	Química analítica aplicada.
> Miguel Puiggari.....	
> Julio J. Gatti.....	
> Ignacio Aztiria.....	
Ing. Emilio Rebueldo.....	Algebra superior y Geología analítica.
> Carlos Posadas.....	
> Luciano Hauman Merck.	
Don Augusto Scala.....	Botánica.
> Eugenio Antrán.....	
> Carlos P. Ripamonte....	Dibujo de figura.
> Reinaldo Gindice.....	
> Cándido Villalobos.....	Dibujo de ornato.
> José V. Ferrer.....	Modelado.
> Horacio Arditi.....	
> Juan Nelsien.....	Zoología.
Ing. Rodolfo Santangelo....	Complemento de matemáticas.
> Emilio Rebueldo.....	Algebra superior y Geomet. analítica.
Don Augusto Scala.....	Botánica.
Dr. Enrique J. Poussart....	
> Jacinto T. Raffo.....	Química analítica.
> Angel Sabatini.....	
Ing. Alberto C. Palacio.....	Geomet. proyect. y descriptiva.
Dr. Federico W. Gándara....	
> Víctor J. Bernaola.....	Físico Química.
> Pedro T. Vignau.....	Microbiología.
> Agustín Delgado.....	Física General.

SEÑORES CONSEJEROS:

SEÑORES PROFESORES:

Al presentar este modesto trabajo como última prueba exigida por el Reglamento Universitario, espero lo juzgaréis con la misma benevolencia con que habéis juzgado mis anteriores exámenes.

Agradezco profundamente al profesor Dr. Enrique Herrero Ducloux por el honor que me dispensa al acompañarme en este acto.

Un deber de gratitud me obliga a manifestar mi sincero agradecimiento al Sr. Agustín Barbajelata, quien puso a mi disposición el laboratorio de la Oficina Química Nacional, de la cual es Director.

Al ingeniero Sr. Enrique Hermitte por haberme facilitado muestras de minerales y el acceso a la Biblioteca de la Oficina a su cargo (División de minas, geología é hidrología); así como al Dr. Anselmo Windhausen por sus valiosas indicaciones.

## INTRODUCCION

---

Mi inclinación para los temas industriales me había sugerido ensayar un estudio completo de los minerales y de las condiciones de la metalurgia en la provincia de la Rioja, cuya riqueza en productos mineros es bien conocida.

Con este propósito y aprovechando la gentil invitación del señor Fontenelle, debía efectuar un viaje á esa provincia; pero por causas ajenas á mi voluntad, tuve que desistir de mi primera idea. Forzoso fué, modificar el plan del presente trabajo, que he debido realizar como las circunstancias me lo permitieron.

En el primer capítulo he tentado un ligero bosquejo geológico de las capas superficiales con los datos tomados de fuentes autorizadas; siguiendo con la exposición de los métodos analíticos y un ensayo de espectrografía de minerales; consigno en un cuadro los resultados de los análisis efectuados. Generalidades sobre la metalurgia del cobre, constituyen el tercer capítulo, tratando el cuarto del estudio de los minerales como materia prima para la fabricación del ácido sulfúrico.

---

## CAPITULO I

---



### ASPECTO GENERAL DE LA PROVINCIA DE LA RIOJA

---

La provincia de la Rioja presenta en su configuración general dos aspectos bien marcados: 1º. Las sierras que cubren toda la región Norte y parte de la Sur; 2º. Las llanuras situadas en el Sud-Este, siendo su constitución arenales desiertos con poca ó ninguna vegetación; presenta poco interés bajo el punto de vista de la minería, solo puede señalarse la "Salinas Grandes" ya explotada en la vecina Provincia de Córdoba.

Viniendo de la Provincia de San Luis con rumbo hacia el Norte se encuentran sucesivamente:

- 1º.—La Sierra del Portezuelo ó de Ulapes cuya dirección general es N.S. siguiendo al Norte viene un sistema formado por las sierras de Chepes, Malazan y de los Llanos de escasa importancia minera.
- 2º.—La región de Velasco, de Castro Barros, de Mazán, y del Ambato son los yacimientos de estaño de Mazán y los criaderos de Wolfram recientemente descubiertos en el departamento de Castro Barros.
- 3º.—La sierra de Famatina, separada del Velazco por el valle de Famatina. El macizo de más elevación, lo cons-

tituye el cerro de Famatina (6300 mts.), sobre la misma latitud se encuentran los pueblos de Chilecito, Famatina, Nonogasta. Es la región minera más importante encontrándose en ella las minas de cobre de la Mejicana, los Bayos, el Ofir, el Ampallado, La Encucijada; las minas de plata de La Caldera, Cerro Negro, Tigre; las minas de oro de Piedras Grandes y del Río del Oro y los aluviones de Ramblanes, La Mariposa, etc.

4º.—Separadas de la sierra de Famatina por el valle de Jagüel y el río Vinchina se encuentran las sierras de Humango, Vinchina y Jagüel que forman ramificaciones de la Cordillera con las sierras de Guandacol donde existen varios yacimientos de plomo y plata.

## RESEÑA GEOLÓGICA

En el presente trabajo he utilizado, preferentemente, para la descripción geológica de esta importante provincia minera, los mapas del Dr. Brackebusch y el informe del Dr. Bodenbender así como algunos datos extractados de las obras del Dr. Tannhäuser, Burmeister, etc.

LAS LLANURAS. El Dr. Bodenbender, en el plano geológico de la parte meridional de la provincia, asigna como componentes principales de las llanuras, que se intercalan entre los diferentes sistemas de sierras, estratos recientes caracterizados por acarros pleistocénico (schotter), rodados, arenas, arcillas, médanos, etc; el mismo autor en una

definición general de las llanuras dice; que pueden representarse como zonas de grandes descensos entre las cuales quedaron las sierras á manera de pilares, sin que esto excluya la suposición del fenómeno contrario, es decir que se deba la formación de las sierras á un levantamiento de las capas que las constituyen; dice además, que en la mayor parte de las faldas de las sierras salen á luz los estratos de Paganzo representados en su piso inferior, equivalentes muy probablemente al terreno carbonífero, por conglomerado con esquistos carboníferos y raras veces con capitas de carbón, en el medio y superior (permo triásico) por areniscas coloradas, rocas meláfiras, etc. se hallan en capas intersticiales, menos en los filones. Arriba de ellos, sigue al poniente de la serranía de Famatina y de la Huerta, el terreno rético, constituido por areniscas grises, margas, esquistos carboníferos con delgadas capas de carbón é igualmente con rocas meláfricas interstratificadas y en filones. Este terreno falta al naciente de estas sierras. Encima del terreno rético ó del de Paganzo, en las zonas respectivas vienen areniscas coloradas que pertenecen al terreno cretáceo superior, ó los estratos de areniscas calcáreas de los Llanos de la Rioja, probablemente equivalentes á aquéllas. El suelo de las llanuras se compone de estratos terciarios, en su yaciente caracterizado por accaréo dacítico de estratos diluviales y aluviales. El predominio de areniscas ha tenido por resultado un suelo superficial muy arenoso.

Expuestas estas generalidades sobre la constitución de las llanuras pasaré á describir en igual forma las características dominantes en las formaciones de la parte serranías, ateniéndome solamente á las capas de afloramiento principales, dejando á un lado las consideraciones geonósticas que por ser de gran importancia no son del caso enumerarlas en

esta reseña; además, si bien es cierto que el último trabajo del Dr. Rodenbender está acompañado de numerosos perfiles que permiten comprenderse de la génesis de estos terrenos, en cambio el mapa del Dr. Brackebusch carece de ellos, esta razón es la que me decide concretarme á generalidades.

Podemos, sin embargo, consignar como dato ilustrativo que las diferentes capas que forman el suelo, tienen una inclinación general y ascendente del oriente al poniente ó al Nor-oeste, es decir, hacia las Cordilleras, lo que no excluye las excepciones que puedan encontrarse en la cercanía de los sistemas pertenecientes á la provincia. Esta consideración constituye la razón por la cual buenos geólogos atribuyen á las cordilleras una formación posterior á los demás núcleos de la parte oriental.

Siguiendo una ruta idéntica á la que he tomado para la descripción del aspecto general de la provincia, comenzaremos por el primer sistema de sierra que encontramos al penetrar por el Sud de la provincia.

SIERRA DE MINAS Y DE ULAPES. — El cordón principal lo forman el granito, pórfido cuarcífero, en su mayoría paleozoicos. La parte oriental de esta sierra baja en pendiente rápida para unirse con la llanura, mientras que la falda occidental es suave y constituida en su mayor parte por terrenos metamorfoseados (cambriano y precambriano?); en la parte de la llanura que limita el sudoeste de esta sierra vemos aparecer una faja formada por el cretáceo superior (?) extraandino, similar á los estratos de los "Llanos de la Rioja" de tosea calcárea arenicosa y caliza, abarca esta faja una extensión comprendida desde el extremo Sur de la sierra hasta la proximidad del "Río del Aguila". Siguien-

do al Norte vemos aparecer una faja de igual composición que circunda la parte norte y noreste de la sierra desde la llanura que limita el "Pozo Cercado" hasta finalizar un poco al norte de villa Ulapes.

Al poniente del Pozo Cercado se encuentran Los Cerillos formados en su núcleo principal por terrenos metamorfoseados, igual formación en la vertiente occidental de las sierras de Minas, constituido por gneis con esquistos anfibólicos y rocas dioríticas. En la falda oriental de Los Cerillos existe un afloramiento del cretáceo superior.

SIERRAS DE CHEPES, DE MALAZAN Y DE LOS LLANOS. — La llanura que limita al sur y que separa este sistema del anteriormente descrito está constituida por elementos del cretáceo superior, este se extiende como una faja que sigue los contornos de la sierra de Chapes abarcando desde Ambil al este hasta las pendientes del pueblo de Chapes al sudoeste y teniendo punto de contacto con la misma formación que limita la parte norte de la sierra de Ulapes en la represa Barranquitas.

Para seguir con los mismos terrenos cretáceo (?) superior extraandino, diremos que éstos aparecen con bastante frecuencia en diferentes parajes de las sierras que nos ocupan, así lo vemos en la falda Este y Sudeste de la sierra de los Llanos formando una faja que une esta sierra con la llanura donde se pierde para aparecer más al este en un estrecho cordón desde la estación San Carlos, dirigiéndose al Sud para tomar contacto con la parte occidental de la pequeña sierra de "Nepes", perdiéndose un poco más al Sur. Lo vemos aparecer nuevamente en diferentes puntos en la región de "Chanical" al Sud y al Norte en pequeños grupos aislados.

dos. En Tama, situado en la parte occidental de la sierra de los Llanos aparece formando como la unión de la sierra de Malazán y de los Llanos en su porción más cercana á la llanura. Constituye á exclusión casi, de otros sistemas el grupo de Cerrillos que se levantan en la región occidental, las sierras de Malazán y de Chepes uniéndose en su parte occidental, con una faja de terreno pleistocénico (?) y terciario constituida en parte por estratos calchaqueños, arcillas yesíferas, arenas y rodados, aglomerado andesítico y dacítico, areniscas, sedimentos calcáreos, etc., con perfecta transición al terreno cretáceo.

En cuanto á la formación de las sierras mismas, el eje principal de la de "Chepes" lo forman el granito y el pórfido cuarcífero en parte paleozoicos, sobre esta formación se apoyan terrenos metamorfoseados (cambriano ó precambriano ?) compuestos de gneis con interposiciones de esquitos anfibólicos y rocas dioríticas, á más de micacita, cuarcita, caliza cristalina, etc., constituye toda la parte oriental de esta sierra. En la región occidental aparece contorneando la base desde Malazán hasta Chepes el terreno carbonífero, permiano y triásico; no se encuentra carbón, pero se ha notado la presencia de plantas fósiles en la proximidad de "Chepes".

"La sierra de Malazán", presenta una constitución á la parte occidental de la de "Chepes", la cual se va prolongando para formar la casi totalidad de la sierra de "Los Llanos"; en la porción que limita la región occidental, existen terrenos metamorfoseados que vuelven á aparecer en el extremo sur de esta sierra.

Adosado al Este de la misma sierra en su porción media á la altura de Otta, aparece una formación carbonífera, que se extiende desde Calera, mostrando esquitos carboníferos y plantas fósiles, hasta prolongarse más al sur de Otta,

esta misma es la que constituye la depresión que une la sierra de los Llanos con la de Malazán.

SIERRA BRAVA. — Poco hay que decir respecto de esta sierra aislada en la porción noreste del territorio de la provincia la mayor parte formada por terreno metamorfoseado al norte; siendo los cerros que la terminan al sur de origen cretáceo superior (?) extraandino; en cuanto al “cerro Colorado” lo constituye el carbonífero, permiano y triásico.

SIERRA DE VELASCO. — Considerando que la sierra de Velasco en su parte meridional, vemos aparecer como eje principal de su formación el granito, bordeando su base el terreno metamorfoseado, gneis con exquisitos anfibólicos, y filita; contornea la base occidental desde “Puestito” hasta “Tanin” un cordón del cretáceo, sobre el que se apoya una faja de pleistocénico que corre desde Río Grande hasta el río San Cristóbal en el extremo sur. Al sur prolonga la sierra de Velasco, una serie de cerrillos formados por el carbonífero (cerro Los Colorados) siendo los más australes constituídos por el cretáceo en su parte central y por una faja que los circunda completamente, de terreno pleistocénico y terciario.

Volviendo á la “sierra de Velasco”, hemos visto que ésta se ramifica en dos cadenas principales, ramificación que se inicia un poco al sur de la capital de la provincia. La “sierra de Velasco”, propiamente dicho conserva una orientación general Sud-Norte, mientras la otra parte se inclina hacia la Rioja, prolongándose hasta Mazán al noreste. Su formación geológica en la parte septentrional conserva los

caracteres generales de la parte meridional, es decir, con el núcleo principal de granito y el pórfido cuarcífero sobre el cual se apoyan los terrenos metamorfoseados que lo rodean casi completamente, dejando lugar para que la formación granítica se prolongue al norte de Sanagasta para constituir la ramificación de "Mazán"; el terreno metamorfoseado se apoya sobre el granito separándose de él cada vez más en dirección al noreste. En el valle de Sanagasta aparece el cretáceo superior (?) abarcando regular extensión.

SIERRA DE FAMATINA. — Llegamos así al sistema de "Famatina" iniciado en la parte meridional por la Sierra de "Sañogasta" y de Vilgo con la ramificación de la "Sierra de Paganzo", las de "Cerro Blanco" y otros cerillos aislados. En el extremo Sur de la "Sierra de Paganzo" aparece formando el "cerro de la Yesera" terreno pleistocénico, el cretáceo y el carbonífero que se prolonga hacia el norte sobre la falda del sistema de Paganzo cuyo centro lo constituye el granito en su mayor parte; entre esta sierra y la de Vilgo la formación carbonífera predomina, rodeándola y extendiéndose hasta la depresión de Sañogasta en la región occidental de la sierra del mismo nombre cuya constitución es idéntica á la precedente. Respecto á la Sierra del Cerro Blanco, situada en la parte sur del anterior sistema su constitución es el granito; el rético se halla representado al este en las "Lomas Blancas" y Loma Negra (Diabasa, pórfiro augítico, etc.)

Volviendo al norte de Sañogasta, llegamos al Nevado de Famatina, cuyo núcleo principal lo constituye el granito pórfido cuarcífero, con terreno rético en la falda occidental, en la oriental esta formación abarca desde el extremo norte

hasta el río Los Angulos al Sud. El centro constituido por terreno siluriano y devoniano abarca toda la región comprendida entre el Nevado de Famatina y la Ciudad del mismo nombre al Este, formando un cordón central que se dirige al Norte hasta el río Chaschuil en la Provincia de Catamarca.

Siendo la región del Famatina una de las más interesantes bajo el punto de vista minero, varios autores han estudiado con detalle su constitución, así para F. Tannhäuser las rocas volcánicas modernas desempeñan el principal rol en su formación. Ya algo al sur en el campo de Ischialasto se presentan grandes rocas arenosas y de color oscuro, las cuales son probablemente más modernas y pertenecen á los feldepatos basálticos. En las montañas de Famatina propiamente dichas, representan á las rocas volcánicas, pedregullos que se reúnen descendiendo por el valle del Cerro Negro. Según "Stelzner" son hornblendas de piroxeno andesita; "Brackebusch" comprobó las mismas sobre el "Cerro Negro". El desarrollo particularmente grande que se transformaban en hornblenda dacita en el Portezuelo Azul.

"Stelzner" menciona iguales elementos en "Río Amarillo", así como más al norte en la "Caldera" y en la "Hoyada". Hacia el norte termina la hornblenda andesita en los "Berros", así como la hornblenda dacítica del campo de Ramblones. En ambas especies de rocas se encuentran vetas auríferas. Los tufos, en parte finamente granulados, areniformes se muestran desde "Escaleras" y "Chilitarico", al oeste las arenas rojas, al este el gneis recubierto al sur por los esquistos carboníferos del rético.

En la parte occidental de la provincia y al poniente de la sierra de "Cerro Colorado", aparece el terreno rético formado por diabasa, porfrito augítico, meláfiro, en filones y

capas, abarcando un grupo de cerros denominados por "Loma Negra", "Mogote Plateado", "Los Lugares", etc.; entre los cuales pasa el río Laguna; en contacto con esta formación se encuentra hacia el norte una vasta extensión donde aparece el cretáceo superior en la sierra "Los Colorados", terminando en el valle del "Río Vinchina", abarca por la parte noreste todo el "campo de Talampaya" limitada al norte por el río del mismo nombre, cuyo cauce corre en terreno pleistocénico (?) terciario, al este por el cerro "Mogote Gualo" y al Sur por el conjunto rético ya citado de "Loma Negra", "Mogote Plateado" etc. Al margen izquierdo del río "Vinchina" encontramos una serie de cerros conocidos con el nombre de Lomas de "Villa Unión" en extenso semicírculo de constitución terciaria. Sobre el margen derecho del río "Vinchina" están los cerros "Los Colorados", en parte constituídos por el rético, cretáceo y carbonífero de diabasa, porfirito augítico y elementos del terciario; en dirección norte comienzan los primeros macizos del "Cerro Villa Unión", que forma parte del sistema de la "Sierra de Humango" de origen granítico en la parte central y sobre el cual se apoyan elementos del rético en la mayor extensión de la vertiente oriental y parte de la occidental.

SIERRA DE GUANDACOL. — Réstanos como última entidad geológica mencionar la "Sierra de Guandacol", situada al oeste del río del mismo nombre y que forma la región septentrional de la "Sierra Jachal" casi exclusivamente constituida por elementos del silúrico y devoniano, con sus caliza, dolomita, etc., una faja terciaria cubre la vertiente Este en su mayor longitud, aparecen además elementos

del rético que son comunes á la formación de la “Sierra de Humango”.

Resumiendo lo anteriormente descrito se vé. que la constitución geológica de la provincia de La Rioja presenta un aspecto bastante complejo, pues los cuatro grandes grupos geológicos. paleozoico, mesozoico, neozoico y pleistocénico se hallan representados con todas sus variadas subdivisiones lo cual, por cierto, ha dificultado su estudio al punto de diverger en ciertas ocasiones las opiniones de sabios geólogos que han estudiado la región; cosa por demás comprensible si se tiene en cuenta la complejidad del sistema orográfico.

Como concepto petrográfico se desprende que las rocas ‘eruptivas antiguas’, se hallan ampliamente representadas en los elementos constitutivos de los sistemas importantes de esta provincia, lo que les atribuiría posiblemente una formación anterior á los núcleos de la Cordillera.

Terminaré este capítulo con la enumeración de los principales yacimientos metalíferos que han sido objeto de alguna explotación, sin caer en el error de citar las numerosas concesiones otorgadas ó pedidas muchas veces con un espíritu más especulativo que con el verdadero propósito de crear una industria benéfica para el país.

Con fin administrativo se ha dividido la provincia en seis distritos mineros: 1º Distrito “Sierra de Las Minas”; 2º Distrito Minero de “Los Llanos”; 3º Distrito de “Velasco”; 4º Distrito de “Famatina”; 5º Distrito de “Guandacol”; 6º Distrito de “Vichina”.

A su vez estos distritos se dividen en “Minerales”, denominación que responde: 1º A la naturaleza de la formación mineralógica relacionada algunas veces con la formación geológica, y 2º á la situación geográfica de las minas. Los nombres que designan á los “Minerales” son generalmente los

adoptados por los mineros. Tigre, La Mejicana, Encrucijada, etc. De todos los distritos mineros el más importante es el de Famatina por agruparse, en un espacio limitado, un gran número de minas y minerales.

A continuación doy un cuadro de la repartición de las principales minas de la provincia de la Rioja en Distritos y en Minerales:

MINERAL	METAL	MINAS PRINCIPALES
<i>1.º Distrito minero de Sierra de Minas</i>		
Espinillos.....	Oro, plata, cobre y plomo.	—
Casas Viejas.....	id. id. id.	—
La Callana.....	id. id. id.	—
San Isidro.....	id. id. id.	—
<i>2.º Distrito de Los Llanos</i>		
Los Llanos.....	Cobre y oro.....	—
<i>3.º Distrito Velasco</i>		
Mazán.....	Estaño.....	—
Castro Barros.....	Wolfram.....	—
<i>4.º Distrito Famatina</i>		
Tigre.....	Plata.....	San Miguel.
Cerro Negro.....	Plata.....	Peregrina, Sto. Domingo, Cortadera, Viuda, Nicolasa
Caldera.....	Plata.....	Aragonesa.
Los Bayos.....	Cobre y plata....	San Pedro.
La Mejicana.....	Cobre, plata y oro.	Upulongos, San Pedro.
Ampallado.....	Cobre, plata y oro.	—
El Ofir.....	Cobre, plata y oro.	Ofir.
La Encrucijada..	Cobre y plata....	S. Isidro, La Encrucijada.
Santa Rosa.....	Cobre.....	San Juan.
Pararrayo.....	Cobre.....	—
El Oro.....	Oro.....	San Guillermo.
Piedras Grandes..	Oro.....	Piedras Grandes
Mariposa Ramblones.	Oro.....	—
Río Blanco.....	Cobre y oro....	Santa María.
Los Angulos.....	Cobre.....	—
<i>5.º Distrito Guandacol</i>		
El Descubrimiento.	Plomo y plata..	Andacoya, Bermúdez.
U'reuchun.....	Plata y plomo....	—
Las Vacas.....	Plomo y plata....	—
<i>6.º Distrito Vinchina</i>		
La Solitaria.....	Niquel.....	Solitaria.
La Estrella.....	Cobre.....	Estrella.
Valle Hermoso....	Cobre y cobalto.	—
Humango.....	Seleniuros.....	—

## CAPITULO II

-----

### **ESTUDIO DE LOS MINERALES**

-----

#### **METODOS ANALITICOS**

-----

En este capítulo haré el estudio de cada mineral bajo el punto de vista analítico, considerando principalmente el tenor en cobre como elemento primordial para juzgar el valor del mismo, así como de su riqueza en azufre al estado de sulfuros metálicos, en vista de su utilización para la industria del ácido sulfúrico, que forma otro capítulo del presente trabajo.

En cuanto á los otros elementos, presentes accidentalmente en los minerales estudiados, consideraré su dosage de secundaria importancia siempre que no formaran parte integrante de un tipo de mineral determinado ó que su valor mercantil no importara un interés especial ; siendo la cal uno de los elementos indispensables como fundentes para la metalurgia del cobre y dada su influencia sobre el azufre, creo conveniente hacerla figurar en los análisis practicados.

## METODO ESPECTROGRAFICO

Antes de emprender los análisis cuantitativos, previo ensayo cualitativo por los métodos que me sugirieron las diferentes condiciones de los minerales y que juzgué por lo tanto más apropiados, quise poner á contribución un método físico, no menos exacto por cierto que los químicos, ponderado por A. de Gramont como susceptible de prestar no solamente ayuda, sino también de constituir un método de análisis de los más sensibles : me refiero al método espectrográfico, el cual ha sido objeto de parte del autor citado de numerosos trabajos en vista de aplicarlo al estudio de los productos metalúrgicos y de los minerales. En el curso de sus investigaciones sobre este punto especial de la espectroscopia A. de Gramont había reconocido, de tiempo atrás, que los espectros de chispa, provenientes de la descarga de un condensador electrostático de una capacidad avaluada entre 0,002 y 0,02 microfarads, suministraban espectros donde estaban caracterizados todos los elementos constitutivos del mineral, dando respectivamente cada uno de ellos su espectro individual y cuya justaposición representaba un espectro de conjunto de los componentes. Tanto los metaloides como los metales se encontraban representados por sus rayas peculiares, esto era tanto más interesante que hasta entonces no había sido posible obtener el espectro de ciertos metaloides si no en tubos á gas rarificado de Plücker ó de Salet. A. de Gramont observó, además, que la chispa condensada que toma nacimiento entre electrodos de metaloides libres da los mismos espectros que aquéllos, sin inflamarlos ; por el con-

trario, si se intercala en el circuito una self-inducción ó si se quita todo elemento de capacidad, el metaloide se inflama dando un espectro apenas visible que á primera vista parece continuo. el azufre, arsénico y selenio se prestan particularmente para evidenciar este fenómeno.

Desde luego, si en las condiciones anteriormente citadas se puede obtener el espectro individual de un elemento en un compuesto complejo, su aplicación constituiría de por sí un método de investigación seguro y rápido ; el espectro resultante contendrá todos los espectros elementales de los componentes, tales espectros son verdaderos “espectros de disociación” que permiten reconocer la presencia de todos los elementos que entran en la composición del mineral. Este modus operandi fué aplicado en un principio á la parte visible del espectro ; pero es sabido que la parte invisible es más rica en características, para lo cual fué necesario recurrir á los procedimientos fotográficos para investigar en toda la región ultravioleta los espectros que no fueran absorbidos por el aire, es decir, hasta U. A. 2000. Todas estas consideraciones trajeron como consecuencia modificaciones y perfeccionamientos en los aparatos que hacen hoy día posible su aplicación para investigaciones de esa naturaleza.

Sólo los espectros de disociación pueden suministrar datos útiles en el análisis espectral en la forma que deseamos aplicarlo y es necesario saber cómo se pueden obtener. Efectivamente, si á la chispa del condensador cargado continuamente por una bobina de inducción, se sustituye la descarga directa de ésta, retirando del circuito el condensador, la chispa no suministra más que algunas rayas brillantes de los metales que se destacan sobre un fondo luminoso, cuando se trata de compuestos sólidos, debido á la incandescencia de los fragmentos. Cuando se trata de líquidos ó de compuestos en

fusión las rayas persistentes pueden mezclarse á bandas del mismo compuesto incompletamente disociado ó no. La chispa de la bobina, sin condensador montado en derivación sobre el secundario, no dá espectros de disociación.

En síntesis, el dispositivo comprende : una bobina de inducción, un condensador electroestático y un espectroscopio ó espectrógrafo cuando se quieren obtener espectrogramas. Más adelante describiré el dispositivo que he empleado.

## **ANALISIS ESPECTRAL DIRECTO DE LOS MINERALES**

El punto de partida de las investigaciones sobre los espectros de los minerales ha sido la hipótesis que la mayor parte de éstos presentando el brillo metálico podían ser suficientemente buenos conductores de la electricidad para suministrar una chispa entre los fragmentos ligados respectivamente á los polos de una fuente de electricidad á alta tensión, hipótesis confirmada por la experiencia, sobre todo, cuando se trata de minerales que contienen metales pesados, tales como la pirita, la blenda, la galena, etc., que dan una chispa, proveniente de la corriente de una bobina, la cual observada al espectroscopio permite reconocer los espectros de los metales presentes, así como el del azufre y presentando todos los caracteres de los espectros de disociación.

«He sido llevado á considerar, dice Gramont, esta aplicación del análisis espectral de los minerales no solamente como un carácter específico importante para el diagnóstico de minerales conductores, sino también á hacer de esta apli-

eación un método general de examen químico completo. teniendo para la mayor parte de los elementos una gran sensibilidad.»

Para observar, se toman dos fragmentos pequeños del mineral á estudiar que se insertan en dos pinzas de platino opuestas por el vértice, fijadas á un soporte vertical provisto de un tornillo á cremallera que permite regular la distancia entre las dos extremidades de los fragmentos, las pinzas se hallan ligadas, por un dispositivo conveniente á las bornas del secundario de una bobina de inducción (dando, por lo menos, de 3 á 4 centímetros de chispa sin condensador), en el secundario se intercalan, en derivación una ó varias botellas de Leyde que permiten obtener un espectro de disociación del mineral acompañado de las rayas del espectro del aire. En ciertos casos el espectro del aire puede presentar inconvenientes para la observación, se consigue disminuir su intensidad acercando las extremidades de los fragmentos hasta la distancia de un milímetro ó bien se puede eliminarlo intercalando en el circuito una selfinducción, dispositivo empleado para simplificar los espectros y que permite la separación cualitativa de los elementos haciendo desaparecer primero los espectros de los metaloides mediante la regularización del valor de la selfinducción. Se instala, además, una cortadura en el circuito con objeto de impedir que el condensador se descargue en el secundario de la bobina y también para regularizar el potencial de descarga.

En los ensayos que he practicado sobre los minerales que presentaban suficiente conductibilidad suprimí los efectos de la self-inducción con el propósito de mantener en lo posible la integridad del espectro del aire que debía servirme posteriormente de pauta para la comparación de los espectros.

La observación del espectro puede hacerse con un espectroscopio común de prisma en flint con escala regulable que permite emplear sin cálculo ni correcciones el atlas de espectros luminosos de Lecoq de Boisbaudran que lleva en el texto tablas para transformar las divisiones micrométricas en longitudes de onda con una aproximación suficiente para la práctica de los exámenes preliminares.

Sucede á veces, cuando se obtiene un espectro muy rico en rayas como el del hierro, por ejemplo, que la lectura del mismo se hace muy difícil, se recurre entonces á un espectroscopio de mayor dispersión; los de visión directa satisfacen en este caso y su manejo no ofrece mayor dificultad.

Gramont en sus investigaciones pudo, empleando este método, reconocer la presencia del Talio en minerales en los cuales no se le había notado. Examinando otros minerales observó que sus espectros eran irregulares y que ciertas rayas aparecían con intermitencias y con brillo muy variable, como lo pudo constatar para la estanina  $\text{SnS}_4\text{Cu}_2\text{Fe}$  y la berthierita  $\text{Sb}_2\text{S}_4\text{Fe}$  por lo cual dedujo que dichos minerales no presentaban una composición homogénea y que debían considerarse más bien como una mezcla íntima de los elementos constituyentes que no como una combinación definida.

Hay que tener en cuenta esta observación sinó se quiere caer en errores graves de interpretación, la ausencia de las características del espectro de un cierto elemento no implica forzosamente que no exista este elemento, sobre todo, si se trata de un mineral de composición compleja, por las variedades que le pueden estar asociadas.

Los experimentos efectuados, en vista de aplicar el método anteriormente expuesto al estudio de los minerales fueron practicados sobre metales nativos, los óxidos, sulfuros, arseniuros, antimoniuros, sulfoarseniuros y sulfoantimoniuros.

ros, etc. No siempre la naturaleza del mineral permite producir la chispa, la falta de conductibilidad se opone á ello, se obvia el inconveniente disgregando el mineral en sales alcalinas fundidas ; el dispositivo es modificado en este caso de una manera conveniente. Como no lo he practicado paso por alto su descripción. Basta mencionar que fué posible de ese modo obtener los espectros de minerales complejos no conductores como la eriolita, el granate, etc. Todas estas observaciones fueron hechas en la parte visible del espectro, bastando la sola observación ocular para seguir las variaciones del espectro y notar las irregularidades é intermitencias así como las apariciones brillantes y fugaces provenientes de partículas extrañas interpuestas en la chispa ó de la poca homogeneidad del mineral.

Este resultado, aparentemente contradictorio, está lejos de constituir un argumento en contra del método, es por el contrario una de sus ventajas, efectivamente, permite dictaminar sobre la naturaleza de ciertas inclusiones pequeñas que son imposibles de separar mecánicamente del resto del mineral para un análisis químico ulterior. Por mi parte, he podido sacar provecho de esto en el curso de mis trabajos. Una muestra de calcopirita presentaba ciertas inclusiones escamosas cuyo aspecto tan diferente del resto del mineral llamaban la atención ; éstas eran muy pequeñas y difícil por no decir imposible de separar por cualquier medio mecánico ; el señor Fontenelle que me había proporcionado una buena cantidad de muestras de mineral de cobre provenientes de minas que él explota, había dudado sobre la naturaleza de estas inclusiones y se mostraba interesado en conocer su constitución. El problema fué fácilmente resuelto ; haciendo saltar la chispa entre dos puntos que tuvieran las inclusiones, obtuve un espectro en el cual reconocí el hierro

y el azufre, tratábase de un sulfuro de hierro que no tenía analogía con la pirita, de color negruzco, reflejo metálico y de estructura escamosa. Como se ve, el método puede prestar un precioso auxilio á la caracterización de particularidades de los minerales, lo que aboga en favor de su aplicación.

Hasta ahora hemos considerado exclusivamente los trabajos que se habían efectuado en la parte visible del espectro, es decir, la parte donde la simple observación ocular de un observador ejercitado puede resolver muchos casos. Pero esto no era suficiente sabiendo que la región ultravioleta, que es la porción más extendida del espectro, encierra un sin número de características utilizables, fué menester, entonces, recurrir á un medio para fijarlas, lo que se consiguió mediante la placa fotográfica y es en esta parte que aprovechamos de los perfeccionamientos que se han aportado al método de investigación. Hoy todas estas investigaciones se practican en la totalidad del espectro, se obtienen así espectrogramas que son susceptibles de medidas exactas y comparables entre ellos; se consigue este fin haciendo uso de espectrógrafos cuyo sistema óptico está constituido por lentes y prismas de cuarzo ó de espató de Islandia, sustancias que permiten el paso de las radiaciones de longitudes de onda 2900 U. A. y 2300 U. A. respectivamente.

Se ha podido obtener de este modo espectrogramas que abarcan la región espectral comprendida entre 7700 U. A. y 2000 U. A.

No hay que disimular que la aplicación de este método ofrece un sin número de dificultades que sólo un hábil operador habiendo efectuado muchas pruebas puede salvar, sacando todo el provecho que de él se puede esperar. Es por esta razón que en el presente trabajo me he concretado prudente-

mente á un ejercicio de comprobación con elementos fáciles de caracterizar sin pretender librarne al estudio profundo y completo para el cual no me considero habilitado en la presente circunstancia. Creí conveniente exponer el procedimiento con alguna detención ya que experimentadores como A. de Gramont, Schuster, Hemsalech, Schumann, Eder y Valenta, etc., han sancionado con sus interesantes trabajos la utilidad de la espectrografía en las investigaciones de laboratorio.

Sin salir del cuadro de esta reseña haré una descripción sumaria del aparato que he empleado y que se encuentra instalado en el laboratorio particular de mi compañero de estudios el doctor Adolfo Williams, quien además de esto me prestó su valioso concurso.

El aparato es un espectrógrafo completo del tipo construído por la casa Hilger, de Londres, y sus características son las siguientes :

**"Comilador"**. — El colimador fijo lleva en la parte anterior la hendidura formada por dos láminas metálicas, una de las cuales es fija, la otra solidaria de un tornillo micrométrico cuyo tambor graduado permite apreciar el 0,005 de milímetro, una cuña tallada en ángulo permite hacer variar el largo de la hendidura, la cual se halla á una distancia de próximamente 0mt80 del lente de cuarzo del colimador; la parte posterior de éste termina en un fuelle que facilita el reglaje de la colimación.

**"Prisma"**. — El prisma está fijado en una platina provista de tornillos niveladores, la que á su vez descansa sobre una plataforma giratoria cuyo limbo lleva las graduaciones del arco de 0° á 360°. El prisma es del modelo Cornu, cons-

tituido por dos medios prismas de cuarzo de  $30^\circ$ , pegados según el plano bisector del ángulo refringente, siendo uno de los prismas de cuarzo derecho y el otro de cuarzo izquierdo ; el eje óptico es normal al plano bisector del ángulo refringente.

**"Camara Fotográfica".** -- Lleva en la parte anterior un lente de cuarzo semejante al del colimador, es decir, plano convexo. Para evitar los efectos de la polarización rotatoria dichos lentes son de signo contrario, y según la regla de Cornu las caras convexas están orientadas hacia el prisma.

La cámara está provista de dos fuelles, uno destinado á hacer variar la distancia focal del lente ; el otro permite modificar la inclinación del chasis con respecto al eje óptico: ambos dispositivos están provistos de escalas.

La cámara está montada sobre un brazo de aluminio cuyo eje de rotación es el mismo que el de la platina del prisma : dicho brazo descansa sobre un círculo graduado que permite medir sus desplazamientos.

El chasis tiene un movimiento vertical que facilita la obtención de varios espectrogramas sobre la misma placa, cuya medida es 8 por 10,5 centímetros.

**"Constantes del aparato".** -- El espectro desarrollado mide próximamente 25 centímetros dividido en cuatro porciones ó regiones, lo que permite por medio del desplazamiento vertical del chasis, obtenerlo sobre una misma placa. A cada una de estas regiones corresponde una posición determinada de la cámara con respecto al espectro ; estas posiciones fijadas de una vez por todas por ensayos anteriores, constituyen las constantes del aparato, y se obtienen haciendo

variar para cada posición los focos del colimador y de la cámara, el ángulo que forma el eje óptico de la cámara con el del colimador, la posición del chasis con respecto al eje óptico de la cámara y finalmente la posición del prisma que se fija para cada posición en la desviación mínima para la raya que se encuentra en el medio del espectrograma (Método de Hartley).

Dichas constantes se resumen en el cuadro siguiente:

pegados  
ndo uno  
izquier-  
ngulo re-  
  
te ante-  
es decir,  
arización  
según la  
hacia el  
  
destinado  
permite  
ie óptico:  
  
aluminio  
del pris-  
ado que  
  
acilita la  
a placa.  
  
sarrollado  
atro por-  
lazamien-  
placa. A  
ón deter-  
s posicio-  
res, cons-  
haciendo

REGIÓN	FOCOS COLIMADOR CÁMARA CM.	COLIMADOR ENFOCADO PARA	POSICIÓN PRISMA DES. MÍN. DES.	ÁNGULO DE LOS EJES DE LA PLACA	ÁNGULO DE LA PLACA	EXTENSIÓN DE CADA REGIÓN ESPECTRAL
I	87,75	λ 4000	355°	41° 15'	65° —	λ 5700 á λ 3400
II	85, —	3100	356°	43° —	64° —	λ 3100 á 2700
III	82,75	λ 2618	357°	45° —	62° 30'	λ 2790 á λ 2500
IV	78,25	2350	358°	47°	61° —	2500 á 2200

**“Modo operatorio”.** — En el circuito de una fuente de electricidad de corriente continúa de 220 volts y que reduce á 24 volts por medio de un reductor de potencial se intercala el primario de una bobina de inducción (la empleada daba, con 17 volts y 4 amperes, 15 centímetros de chispa): del secundario salen los conductores que se fijan respectivamente á las bornas de las pinzas que sostienen los dos fragmentos del mineral, tallados groseramente en pirámide cuyos vértices se oponen, la distancia entre los electrodos varía entre 1 y 3 milímetros; en el secundario se intercalan en derivación una ó dos botellas de Leyde cuya capacidad es de 0.0027 microfarads. El dispositivo que soporta los fragmentos del mineral á estudiar es colocado frente á la hendidura del colimador á una distancia conveniente, entre la hendidura y la fuente luminosa se intercala una lente cilíndrica en cuarzo que transforma la inmágen de la chispa en una línea neta y brillante; la lente empleada fué el condensador de V. Schumann construído por Fuess de Berlin. Se hace funcionar la bobina, se regulan convenientemente las distancias entre la hendidura, la fuente luminosa y el lente y al mismo tiempo se consigue que la chispa y el condensador se encuentren en la prolongación del eje óptico del colimador, condición que se comprueba observando si la lente del colimador se halla uniformemente iluminado.

Se coloca cada parte del aparato según las constantes particulares á cada región y se expone la placa fotográfica á la acción de las radiaciones durante un lapso de tiempo que varía con la naturaleza y sensibilidad de la placa y de las radiaciones. En el presente caso he empleado las placas “Allochrone” de la casa Wratten y Wainwright, recomendables por la fineza de su grano; la exposición variaba entre 3’30” para la parte visible, 4’ para el ultravioleta y 4’30”

para el extremo ultravioleta; la abertura de la hendidura variaba entre  $1/100$  y  $1/50$  de milímetro. La placa así impresionada se revela en la oscuridad, se fija y se obtiene así un negativo que contiene cuatro espectrogramas provenientes del mineral estudiado.

Una vez seca la placa se monta sobre la platina de un microscopio dispuesto para este objeto (20 á 30 diámetros de aumento son suficientes); conjuntamente se fija la placa de un espectro de comparación obtenido del mismo modo pero haciendo saltar la chispa entre dos fragmentos del cuerpo simple que se quiere buscar en el mineral, aforando los dos espectrogramas con las rayas comunes del espectro del aire, las cuales se definen con facilidad; luego se hace correr la platina buscando si en el espectro del mineral hay rayas comunes con el espectro de comparación. En el ocular del microscopio hay una escala micrométrica fotografiada cuya imagen se superpone en el campo y que permite apreciar, según el aumento empleado de  $1/50$  á  $1/100$  de milímetro. De este modo se pueden determinar las longitudes de onda con una aproximación suficiente para la práctica, partiendo de una raya característica cuya longitud de onda puede encontrarse en las tablas espectrográficas.

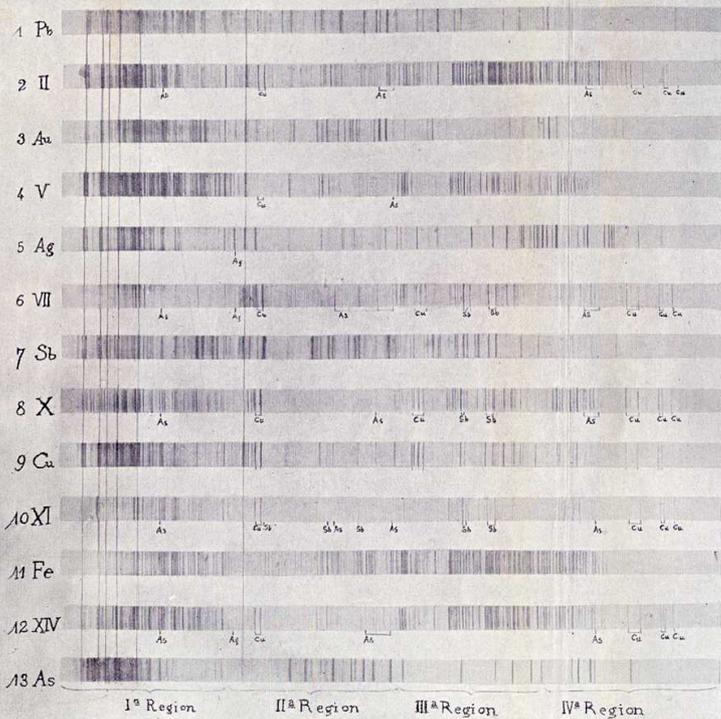
Dificultades de manipulación no me han permitido traducir en la lámina el trabajo de observación hecho con los diferentes espectros de los minerales, razón por la cual, me he visto obligado á hacer figurar en ella los espectros desarrollados justaponiendo las diferentes regiones que los componen; esto me impide evidenciar, como lo hubiera deseado, la utilidad del método que no por eso queda disminuida. Por otra parte, el número de espectrogramas es ya excesivo para que en una misma lámina pueda observarse con certeza si tal ó cual elemento está presente en un mineral; un

apertura de la hendidura  
otro. La placa así impresio-  
nada se fija y se obtiene así un  
espectrograma provenientes

se coloca sobre la platina de un  
objeto (20 á 30 diámetros  
simultáneamente se fija la placa  
pendido del mismo modo pe-  
nidos fragmentos del cuerpo  
mineral, aforando los dos  
límites del espectro del aire,  
se fija; luego se hace correr la  
placa del mineral hay rayas co-  
munes. En el ocular del mi-  
croscopio se fotografía cuya ima-  
gen permite apreciar, según  
la longitud de onda de milímetro. De este mo-  
do se puede encontrar

que me han permitido tra-  
sobservación hecho con los  
espectros, razón por la cual, me  
en ella los espectros des-  
tañadas regiones que los com-  
ponen como lo hubiera deseado, la  
intensidad queda disminuida. Por  
tanto es ya excesivo para  
observarse con certeza si  
existe en un mineral; un

## Espectrografia

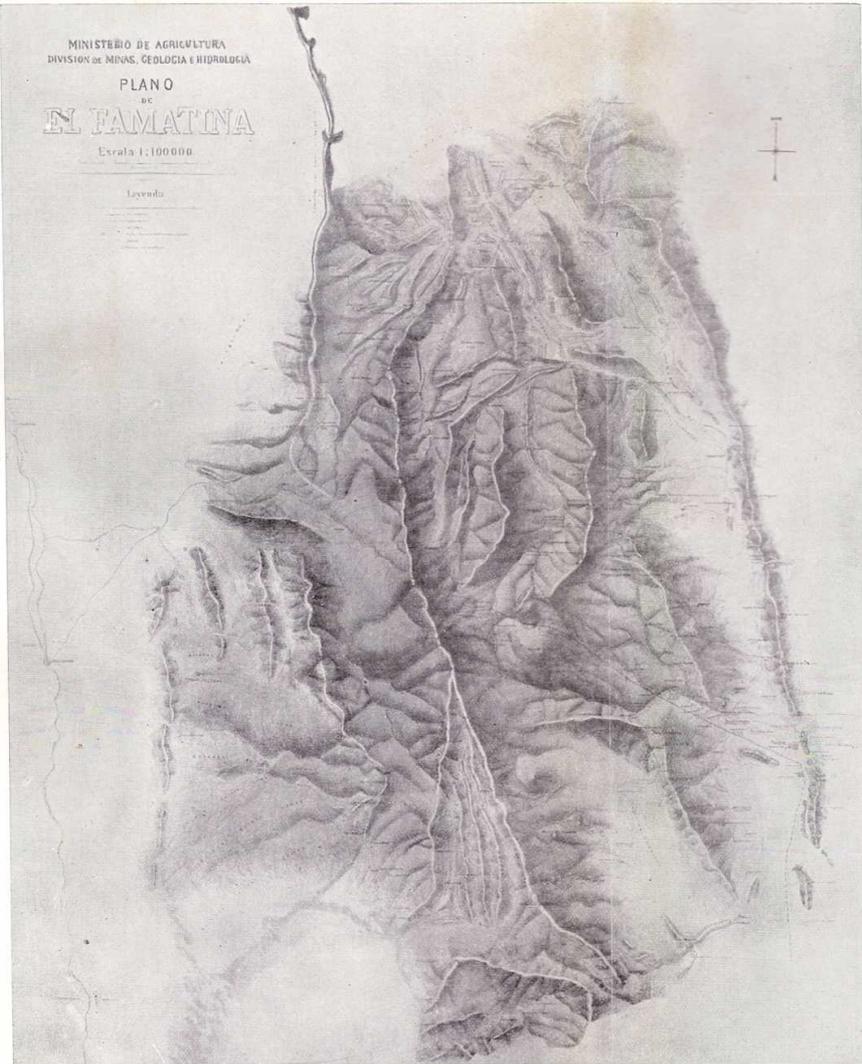


MINISTERIO DE AGRICULTURA  
DIVISION DE MINAS, GEOLOGIA E HIDROLOGIA

PLANO  
de  
**EL FAMATINA**

Escala 1:100000

Legenda



NOTA - No teniendo este mapa circulación oficial, por no satisfacer á la Dirección de minas, geología é hidrología, debo á una autorización especial su reproducción.

trabajo más completo en este sentido constituye de por sí el objeto exclusivo de un estudio especial, lo cual saldría del carácter que me impuse al practicar un ensayo del procedimiento en las condiciones personales que he manifestado en el curso del presente capítulo.

En la región correspondiente al espectro visible he trazado algunas líneas que ponen en evidencia las rayas más brillantes del espectro del aire, cuya constitución análoga puede observarse con un lente; en cuanto á los elementos que he podido comprobar en los espectrogramas de minerales los he marcado con el símbolo correspondiente.

Para la interpretación de la lámina es necesario tener presente ciertas consideraciones que emanan del método en sí; lo heterógeno del mineral que suministra un espectro fugaz que impresiona muy débilmente la placa, la proximidad de una raya brillante de un metal con respecto á la débil de un metaloide lo que dá por resultado la resolución de esa raya y, finalmente el porcentaje del elemento que se busca; de este último caso tenemos una prueba examinando el espectrograma del mineral Núm. V., en la segunda región vemos que las dos rayas características del Cu se hallan muy atenuadas comparándolas con las mismas de otros minerales.

Para evitar estos inconvenientes A. de Gramont considera indispensable el empleo de self-inducciones de poco valor al principio para aumentarlas luego paulatinamente, lo que permite simplificar los espectros de disociación eliminando primero las rayas del aire y sucesivamente la de varios metaloides que desaparecen sin modificar sensiblemente los espectros de los metales. El mismo autor agrega: "El empleo de la self-inducción permite una separación analítica de los elementos y una simplificación progresiva de sus espectros que es ciertamente ventajosa en las investigaciones químicas.

“En el curso de estos estudios sobre minerales he marcado las rayas que producen los cuerpos simples aún cuando con el nombre de “rayas últimas” porque desaparecen las últimas. Dichas rayas son las que habrá que buscar de preferencia; no son necesariamente las más fuertes pero sí las que resisten mejor al efecto de la self-inducción; pudiendo de las modificaciones sucesivas de un espectro deducir el tenor aproximativo de un elemento en un mineral”.

## METODO POR VIA HUMEDA

---

Dada la complejidad así como la naturaleza de los minerales á analizar, sería difícil hallar un método único que permitiera investigar y dosar todos los elementos que en ellos pudieran encontrarse; un método de separación puede ofrecer ventajas bajo el punto de vista cualitativo y no serlo así para conocer ponderalmente la riqueza de tal elemento. Bien que el presente trabajo no se hallen determinadas las cantidades de todos los cuerpos que forman el mineral, he tenido que seleccionar entre los diferentes procesos analíticos los que ofrecían las mayores ventajas de exactitud y rapidez teniendo en cuenta la naturaleza del compuesto á analizar, siendo evidente que hay una diferencia entre un mineral oxidado y un sulfurado.

Para el dosaje de aquellos elementos que en mi concepto merecían especial atención me he esforzado en realizarlo con los métodos preferidos por los autores de reconocida autoridad, concretándome respecto á los demás cuerpos á un atento reconocimiento cualitativo.

Para el análisis general por vía húmeda he seguido casi exclusivamente los que recomienda R. Fresenius al tratar de los análisis de minerales de cobre sulfurados y de los falherz, los describiré suscintamente.

---

El mineral es reducido á polvo fino, desecado á 100°; seguidamente se toman 5 gramos de la muestra tratándolos por ácido nítrico concentrado, al cabo de cierto tiempo se agrega ácido clorhídrico igualmente concentrado y se deja en digestión hasta descomposición completa, se evapora á bañomaría casi á sequedad, el residuo se toma por ácido clorhídrico, se evapora nuevamente á sequedad, se humedece el residuo con ácido clorhídrico, se diluye con agua, se hierve y se filtra. (a).

En estas condiciones el azufre queda totalmente oxidado, parte del arsénico, si lo hubiera, se volatiliza, siendo necesario recurrir á otro procedimiento para dosarlo conjuntamente con el antimonio.

En el residuo queda la ganga y eventualmente el plomo y la plata, si estos metales existieran, se trata el residuo por tartrato de amonio y amoníaco para eliminarlos; se seca y calcina el residuo formado por la ganga silícea, silicatos no descompuestos y sulfato de bario si lo hubiera; para investigar este último basta disgregar con la mezcla fundente hasta fusión tranquila, tomar por ácido clorhídrico tres veces consecutivas evaporando á sequedad en bañomaría, tratar el residuo por ácido clorhídrico y agua, hervir, filtrar y precipitar en el filtrado el bario con ácido sulfúrico.

En el filtrado clorhídrico a) quedan las bases del segundo grupo que se precipitan por el hidrógeno sulfurado; se filtra (b), el precipitado se lava con agua sulfhídrica y se le hierve con una solución de sulfuro de potasio para separar los sulfuros solubles de arsénico, antimonio y estaño; el precipitado de sulfuro de cobre es disuelto en ácido nítrico hirviendo y se reserva dicha porción para dosar el cobre por electrólisis. La solución de sulfuro de potasio que contiene los sulfuros de arsénico, antimonio y estaño es utilizada pa-

ra comprobar estas bases, siendo su dosage objeto de una operación especial.

El filtrado (b) es concentrado á bañomaría para expulsar el exceso de hidrógeno sulfurado, se oxida con ácido nítrico á ebullición y se precipita el hierro y el aluminio por el método ordinario y se pesa el conjunto prévia calcinación. Para dosar el hierro se disuelve el residuo de la calcinación en ácido nítrico eliminando el exceso y se precipita el hierro con hidrato de potasio, se redissuelve el precipitado en ácido clorhídrico, se reprecipita con amoníaco y cloruro de amonio, se filtra, se calcina y se pesa.

Puede dosarse el hierro por volumetría eliminando el ácido nítrico con ácido sulfúrico evaporando hasta producción de vapores, se reduce la sal férrica al minimum por el hidrógeno naciente y se dosa la sal ferrosa así obtenida por medio del permanganato de potasio en solución titulada.

Para dosar níquel y cobalto ú otros elementos contenidos en pequeñas cantidades es necesario operar sobre una toma de muestra de 10 gramos. En este caso al filtrado amoniacal proveniente de la precipitación del hierro y aluminio se añade amoníaco hasta reacción débilmente alcalina y ácido acético hasta reacción francamente ácida, agregando si es necesario acetato de amonio, se calienta ligeramente á 70° pasando la corriente de hidrógeno sulfurado que precipita el níquel, el cobalto y el zinc; se filtra (c) el precipitado se disuelve en ácido clorhídrico y bromo, se evapora el bromo; á la solución clorhídrica se agrega carbonato de sodio hasta formación de un ligero precipitado permanente que se redissuelve agregando ácido clorhídrico, en este líquido neutro se hace pasar la corriente de hidrógeno sulfurado, agregando después que la corriente ha pasado durante un

momento algunas gotas de acetato de amonio, en estas condiciones ha precipitado la totalidad del zinc, se filtra (d), se lava con agua sulfhídrica y se pesa como sulfuro de zinc. En el filtrado (d) se alcaliniza con amoniaco y se añade acetato de amonio en exceso, luego sulfuro de amonio en suficiente cantidad, se filtra, se lava y pesa al estado de sulfuros conjuntamente el níquel y el cobalto.

Para dosar el cobalto se disuelve el precipitado de sulfuros en agua regia, se evapora á sequedad, se toma con una pequeña cantidad de agua alcalinizada con hidrato de potasio, se disuelve el precipitado formado en ácido acético y se dosa el cobalto al estado de nitrito doble de cobalto y potasio.

En el filtrado (c) se dosa el manganeso, alcalinizando con amoníaco en exceso y precipitando con sulfuro de amonio, se pesa al estado de sulfuro.

La solución proveniente de la operación anterior es calentada á ebullición hasta eliminar la mayor parte del hidrógeno sulfurado, se acidula con ácido clorhídrico continuando la ebullición. Se filtra para separar el precipitado de azufre y en el líquido se dosa el calcio al estado de oxalato y posteriormente el magnesio.

Los elementos no dosados en las operaciones citadas y que presentan un interés primordial, como el azufre, antimonio, plata y oro son objeto de operaciones particulares que describiré en lo sucesivo.

**Dosaje del azufre total.** — En un crisol de platino se mezclan íntimamente 1 gramo del mineral en polvo con 8 ó 10 partes de una mezcla de carbonato de potasio y nitrato de sodio (dos partes de la primera sal y una de la segunda), se recubre el todo con una capa de fundente puro, se calienta paulatinamente hasta fusión que se mantiene durante al-

gún tiempo; se deja enfriar, se disuelve en agua hasta completa disolución, si quedara un precipitado, plomo ó bario, se separa por filtración, al líquido se añade ácido clorhídrico hasta eliminar todo el anhídrido carbónico y se precipita el sulfato de potasio formado con cloruro de bario.

**“Azufre utilizable para anhídrido sulfuroso.** — Contemporáneamente me pareció útil conocer el rendimiento en anhídrido sulfuroso de algunos minerales para la fabricación del ácido sulfúrico. Es sabido que para tal objeto el tenor, aún mismo en azufre de sulfuros, poco puede ilustrar, pues el rendimiento en anhídrido sulfuroso depende mucho de la composición del mineral desde que al verificar la tostación en los hornos se producen reacciones secundarias entre los diferentes elementos ávidos de azufre y entre los cuales el calcio, el plomo y el zinc desempeñan un papel importante, fijando el azufre en perjuicio del rendimiento de anhídrido sulfuroso. Por esta razón resolví efectuar algunas experiencias tratando de ponerme en igualdad de condiciones con las operaciones que se efectúan industrialmente.

Sobre una parrilla de análisis elemental de 40 centímetros de largo dispuse un tubo de porcelana de 3 centímetros de diámetro interior y de 60 centímetros de largo, llenando la parte media en un espacio de 30 centímetros del tubo con 150 á 250 gramos del mineral finamente pulverizado, en la extremidad anterior del mismo (izquierda) había conectado un aparato de desalojo para obtener una corriente constante y regular de aire, y en la parte posterior un recipiente conteniendo una solución de hidrato de potasio al 20 por ciento destinada á recoger el anhídrido sulfuroso formado por la calcinación del mineral, la operación duraba de dos á cuatro horas según la riqueza en azufre, dosando luego en la solución alcalina el ácido sulfúrico formado previa oxidación

con bromo. Los resultados obtenidos son satisfactorios, respondiendo con poca diferencia al rendimiento industrial, los datos obtenidos están consignados en los cuadros de análisis respectivos (Cap. IV).

**“Dosage electrolítico del cobre”.** — De todos los métodos preconizados para el dosage del cobre, el electrolítico es, ciertamente, el que ofrece mayores ventajas, tanto por la simplicidad de la operación como por su exactitud; sin embargo, para obtener buenos resultados es necesario tener en cuenta que en una electrolisis directa de compuestos complejos como son los minerales estudiados, presenta dificultades que pueden comprometer la exactitud de los resultados por la formación de depósitos de elementos extraños al dosage y que es necesario eliminar cuando no se dispone de una instalación en la cual se pueda hacer variar según las necesidades el potencial y la intensidad de la corriente disponible, pues de lo contrario se corre el riesgo de ver depositarse contemporáneamente los elementos de constantes electrolíticas muy vecinas ó que por su naturaleza sean arrastrados por el metal electrolizado; un ejemplo de este caso es la presencia del arsénico ó del antimonio que se deposita al mismo tiempo formando un depósito negro impropio de un dosage de esta naturaleza.

Teniendo en cuenta estas consideraciones creí conveniente aislar el cobre de los demás cuerpos, á fin de evitar en lo posible la presencia de elementos perjudiciales á la exactitud de la operación.

Para dosar el cobre contenido en los minerales utilicé el precipitado de sulfuro de cobre obtenido en el comienzo de la operación por vía húmeda y separado de los sulfuros de arsénico y de antimonio.

Gilbs, Luckow, Classen, Riche, E. Smith, Carl Engels y

otros han estudiado el dosage electrolítico del cobre, preconizando métodos que dan buenos resultados aplicados según las circunstancias, que en realidad no son si no variantes del mismo procedimiento que nacen de la facilidad de descomposición de los electrolitos de cobre por medio de la corriente. En efecto, se ha propuesto electrolizar el cobre de sus soluciones sulfúricas, nítricas, acéticas, amoniacaes, de aquellas en las que se le halla al estado de oxalato doble amoniacal, cianuro, fosfórica y también de soluciones adicionadas de hidroxilamina, de úrea, etc.. todas dan buenos resultados; sin embargo, puede observarse que la presencia de cloruros es en general perjudicial.

De todos estos métodos es indudable que el dosage del cobre en solución nítrica es el que ofrece, por su simplicidad y seguridad en los resultados, las mayores ventajas, además de permitir la separación de los metales del grupo del hierro, por ejemplo, que quedan en la solución nítrica mientras el plomo y el manganeso se fijan en el anodo bajo forma de óxidos y el cobre metálico en el catodo.

La condición indispensable para llevar á buen fin la operación es la presencia del ácido nítrico libre en exceso, exceso variable según los autores pero no inferior en todo caso á 4 por ciento. Luekow preconiza 10 por ciento, sobre todo, si la electrolisis debe durar algún tiempo, para evitar la reducción del ácido nítrico en amoníaco

La concentración del electrolito influye sobre la naturaleza del depósito, que se hace poco adherente y esponjoso si ésta es muy grande, 0.5 gr. á 0.8 gr. de cobre por ciento de solución suministran un depósito perfectamente adherente, de color rosado y aspecto cristalino.

A la temperatura ordinaria la electrólisis se efectúa bien; según Classen la elevación de temperatura acelera la

operación si no pasa de 30°; pasando esta temperatura sería difícil hacer depositar los últimos vestigios de cobre, á pesar de esto, Riche obtuvo resultados exactos operando entre 60° y 90°.

El potencial puede variar de 2.5 á 3 volts con una intensidad de 0.5 á 1 ampere por decímetro cuadrado, intensidad que no se deberá pasar para soluciones que contengan otros metales. En las condiciones que preceden, una solución que contenga 0.5 gr. de cobre exigirá próximamente diez horas para depositar todo el metal. Se comprueba que todo el cobre se ha depositado agregando en el recipiente donde se efectúa la electrólisis una cantidad de agua destilada para cubrir en algunos milímetros la parte anteriormente descubierta del catodo continuando el paso de la corriente; si no se produce depósito la operación puede darse por terminada; en el caso contrario, aparece un tenue depósito de color orzado y es necesario continuar la electrólisis hasta depositar completamente el cobre.

Terminada la operación se saca el electrodo, sobre cuya superficie se halla el depósito, sin interrumpir la corriente, se lava con agua destilada y con alcohol, se seca á la estufa entre 60° y 80° y se pesa.

Si la solución contiene arsénico ó antimonio, éstos se depositan contemporáneamente dándole un color pardo; en las usinas de Mansfeld, donde se analizan minerales que contienen dichos metaloides, se obvia el inconveniente calcinando el electrodo en la llama oxidante del bunsen, los óxidos de antimonio y arsénico se volatilizan mientras el óxido de cobre permanece adherido al electrodo, se disuelve el óxido de cobre en ácido nítrico y se electroliza dicha solución.

Observando estas indicaciones, realicé el dosage del cobre en los minerales disponiendo cuatro sistemas de electro-

dos montados en derivación en un circuito cuyas constantes eléctricas eran 3 volts y 2,5 amperes, obteniendo así una densidad de corriente de 0,6 amperes, próximamente, para cada electrodo; un dosage previo hecho con cianuro de potasio me permitió darles á cada uno de los electrolitos la misma concentración y conocer la duración aproximada de la operación que fué de 2 á 14 horas, según la riqueza del mineral y obteniendo excelentes resultados en cuanto á la pureza de los depósitos.

**“Dosage de los metaloides arsénico y antimonio”.** —

La presencia del antimonio y del arsénico en los minerales sulfurados destinados á la preparación del ácido sulfúrico tiene el grave inconveniente de introducir no solamente impurezas en el producto elaborado, sino que también el de recargar el precio de costo por la imprescindible necesidad de manipulaciones ulteriores con el objeto de purificarlo, no siendo menos grave el peligro que trae cuando la proporción de estos elementos es mayor, por cuanto al sublimarse en los canales de acceso á las cámaras de plomo, llegan á obstruirlas á veces con gran perjuicio para las instalaciones. Teniendo en cuenta estas consideraciones me propuse determinar estos dos elementos con cuidado, aplicando para su dosage esta misma propiedad de sublimación y para lo cual he seguido el procedimiento aceptado por Fresenius, para dosar los mismos elementos en los fahlerz.

Dicho método consiste en volatilizar por medio de una corriente de cloro seco y caliente una cantidad de sustancia determinada recogiendo los cloruros volátiles.

El modo operatorio es el siguiente: en un tubo de vidrio de 60 centímetros de largo se coloca una navicilla de porcelana conteniendo de dos á tres gramos del mineral finamente pulverizado y se hace pasar una corriente de cloro produci-

da por medio del ácido clorhídrico y el permanganato potásico, el gas, previamente desecado, pasa en frío sobre la sustancia: la reacción se efectúa con una gran elevación de temperatura y los cloruros volátiles pasan una parte en un líquido absorbente formado por una solución de ácido tártrico adicionada de pequeña cantidad de ácido clorhídrico, contenida en dos tubos de Peligot, adaptados al otro extremo del tubo donde se subliman en parte los cloruros. Hacia el final de la reacción se calienta muy suavemente la porción donde se halla la navecilla, continuando siempre la corriente de cloro, para eliminar los cloruros condensados en el tubo, evitando la expulsión completa del cloruro férrico, es prudente suspender la calefacción cuando no pasan más que vapores de cloruro férrico. Una vez la operación terminada se deja enfriar el aparato, se separa el tubo del aparato productor de cloro, se humedece el interior del tubo, se deja en esta forma hasta el día siguiente para que el sublimado se impregne de humedad, lo que facilita la solubilización. Se lava el tubo con una solución de ácido tártrico adicionada de ácido clorhídrico y se añade a la solución contenida en los tubos de Peligot. El residuo de la navecilla es utilizado, si se quiere, para el análisis común.

La solución tártrica debe ser límpida, si no lo fuera sería indicio de que han precipitado compuestos oxigenados del antimonio, se calienta para favorecer su disolución y se filtra si hubiera un precipitado de azufre. Se precipitan a 70° por medio de la corriente de hidrógeno sulfurado el antimonio y el arsénico (el mercurio y el plomo si los hubiere). Se separan los sulfuros de antimonio y arsénico con una solución de sulfuro de potasio, en ésta se precipitan con ácido clorhídrico los sulfuros de antimonio y arsénico, se filtra, se lava con agua caliente, con alcohol y se extrae el exceso de

azufre con sulfuro de carbono, se lava repetidas veces con alcohol, se deseca á 100° y se pesan como pentasulfuros el arsénico y el antimonio. Para separar el arsénico del antimonio se disuelven los sulfuros en ácido clorhídrico y el clorato de potasio, se añade ácido tártrico, gran cantidad de cloruro de amonio y un exceso de amoníaco y se dosa el arsénico al estado de arseniato amónico-magnésico. El antimonio se calcula por diferencia.

**“Dosage de Plata y Oro por vía seca”.** — Casi todas las piritas contienen pequeñas cantidades de oro y plata y siendo estos metales de gran valor mercantil fácilmente se concibe que un mineral que los contenga puede adquirir un valor que crece paralelamente con el porcentaje de estos metales y por consiguiente, su dosificación tiene la mayor importancia.

En general el tenor en metales preciosos en un mineral está representado por cifras muy pequeñas para que su dosage por vía húmeda ofrezca alguna probabilidad de exactitud. En efecto, comercialmente se considera un mineral rico en plata cuando este metal alcanza ó pasa de dos kilos por tonelada y de 50 gramos de oro para el mismo peso de mineral bruto, sin que esto excluya una riqueza mayor lo que es muy frecuente, desde luego se concibe que semejantes cantidades se hallan representadas por cifras muy pequeñas, cuando para un análisis corriente por vía húmeda son generalmente suficientes de 2 á 5 gramos.

Para poder valorar un mineral con alguna exactitud será necesario recurrir á un procedimiento que permita obtener resultados más fidedignos, estos son alcanzados por la vía térmica que permite hacer las operaciones sobre cantidades de mineral que no son menores de 50 gramos para los casos de una riqueza corriente.

En principio el método consiste en obtener una aleación de los metales contenidos en el mineral por medio de una fusión con plomo (metal fácilmente oxidable á la temperatura de fusión) obteniendo así una mayor concentración que en el mineral, esta aleación ó régulo sometido á la fusión oxida el plomo y los metales que lo son á esa temperatura, siendo estos absorbidos por un cuerpo poroso (copela) quedando los metales preciosos.

La operación comprende: la torrefacción, la fusión y la copelación que son susceptibles de ligeras variantes según la naturaleza y la riqueza del mineral á analizar.

**“Torrefacción”**. — La torrefacción tiene por objeto eliminar la mayor parte de los productos volátiles que puedan influenciar la maleabilidad del régulo obtenido en las demás operaciones que hay que verificar.

**“Fusión”**. — Campredon forma tres grupos según que el mineral escorificado suministre un régulo de plomo de peso menor, igual ó mayor que la toma de muestra. en efecto, es importante para tener resultados seguros que la totalidad de la plata y del oro contenidos en el mineral hayan pasado al régulo de plomo, si éste es insuficiente se corre el riesgo de obtener resultados falsos. para eso aconseja una prueba preliminar sobre una toma de muestra de dos gramos á la cual se incorpora un exceso de litargirio sometiendo la mezcla á la fusión; el peso del régulo obtenido hará conocer si en el ensayo definitivo hay que agregar un oxidante ó un reductor. Según esto, el mismo autor aconseja para la obtención del régulo las composiciones siguientes, que deberán emplearse en cada uno de los tres casos antes dichos:

	(a)	(b)	(c)
Mineral.....	50 gr.	50 gr.	50 gr.
Litargirio.....	200 »	200 »	200 »
Carbonato sódico..	50 »	50 »	50 »
Acido tártrico.....	2,5 »	—	—
Nitrato de potasio.	—	—	2,5 »

En los tres casos se recubre la mezcla de una capa de 30 gramos de cloruro de sodio y 30 gramos de borax, el crisol con su contenido es puesto en la mufla, evitando la acción reductora de la llama; se eleva paulatinamente la temperatura hasta fusión tranquila que se mantiene algún tiempo; luego se deja enfriar el crisol, el plomo se reúne con los demás metales en el fondo mientras las escorias quedan en la parte superior, se separa el régulo de la escoria rompiendo el crisol ó bien vertiendo el contenido después de la fusión en una lingotera de hierro.

El régulo separado de las escorias y limpio es sometido á la copelación.

La fusión es aplicable sólo cuando el mineral contiene pequeñas cantidades de otros metales, tales como cobre ó arsénico, antimonio, etc. Cuando la proporción de esos metales es mayor se recurre á la escorificación, operación que consiste en una fusión con plomo metálico, efectuada en una escudilla, vasija de tierra refractaria; una parte del plomo se combina á los óxidos de hierro, de cobre y otros metales contenidos en el mineral, así como á la sílice, el resto de plomo disuelve el oro y la plata, quedando en el fondo del escorificador, se separa el régulo de la escoria y se procede á la copelación. La escorificación presenta algunas dificultades, teniendo además el inconveniente de tener que operar sobre una toma de muestra que no pase de unos 5 gramos á causa de la fuerte proporción de plomo que hay que emplear y que en algunos casos alcanza á quince veces el peso del mineral.

**“Método mixto”**. — En este caso es preferible recurrir á un procedimiento mixto que consiste en eliminar la mayor parte de los metales (cobre, zinc, etc.) por medio de un ataque con ácido nítrico.

Se toman de 200 á 500 gramos de mineral que se introducen en un balón de cuello largo, luego se vierte sobre el mineral ácido nítrico al 1|2, cuando el ataque se ha moderado se agrega un poco de ácido clorhídrico para disolver las sales ferrosas, se evapora el exceso de ácido y se separan las partes insolubles por filtración. En el filtrado se sumerge una lámina de hierro y se deja durante 24 horas para reducir al mínimum las sales de hierro y precipitar el cobre y los metales preciosos al estado metálico. Se lava la lámina con un cepillo de hierro, se recoge el precipitado, se seca y se funde con dos veces, más ó menos, su peso de carbonato sódico y una de borax. El régulo de cobre obtenido contiene todo el oro y la plata y se le somete á la copelación con un exceso de plomo.

**“Copelación”**. — Obtenido el régulo en las mejores condiciones posibles se verifica la copelación, que consiste, como lo hemos dicho anteriormente, en absorber por medio de un cuerpo poroso (la copela) los óxidos de metales que se forman á la temperatura de fusión. al final de la operación la aureola luminosa debida á la combustión del plomo se desvanece y el botón de plata aparece refulgente produciendo lo que se llama el “relámpago”.

Quando éste se ha producido se retira gradualmente la copela hacia la abertura de la mufla para que el botón se enfrie lentamente y evitar el “escúpe” producido por la violenta absorción de oxígeno por el botón metálico, lo que provocaría pérdidas.

Recordemos que para efectuar la copelación en condiciones normales que teóricamente un peso de copela puede absorber los óxidos de dos partes de plomo, pero prácticamente es más seguro hacer uso de una copela de peso sensiblemente igual al régulo.

Obtenido el botón se limpia perfectamente y se pesa; para conocer la cantidad de oro se disuelve la plata en ácido nítrico quedando el oro que se recoge por decantación; se seca, se calcina y se pesa. En caso de que la proporción de oro fuera mayor de un tercio del peso del botón, éste no sería atacado por el ácido nítrico; para que lo fuera es necesario que la proporción de plata sea por lo menos igual á tres veces la del oro, si no fuera así se "encuarta", operación que consiste en añadir un peso de plata conocido y fundiendo el conjunto para obtener un botón atacable.

## LOS MINERALES

---

Los minerales que he analizado pertenecen á las minas que se hallan agrupadas en el macizo del nevado de Famatina, del que he dado una descripción geológica general en la primera parte del presente trabajo.

Los mineros distinguen tres grupos de minerales de cobre: los Bayos, La Mejicana y la Encrucijada, comprendiendo cada uno de éstos varios minerales ó vetas. Los análisis pertenecen á minerales del segundo y tercer grupos, no habiendo tenido oportunidad de conseguir muestras del primero.

Respecto á los caracteres geológicos del sitio de procedencia de estos minerales transcribo las indicaciones que da el señor Pablo Viteau en su Informe sobre el estado de la minería en los distritos de Famatina y Guandacol (Anales del Ministerio de Agricultura, Tomo V, N° 1, 1910:

“1° “Los Bayos”. Completamente diferentes de los otros. Se debe considerar como un “yacimiento de transformación” (gite de remanent) en las hendiduras producidas por la contracción del macizo erúptico de dacita durante su enfriamiento, las cuales fueron agrandadas por la circulación de las aguas que provocaron la descomposición de la roca en “tolfo” y la formación de huecos donde el mineral debió acumularse en forma de “clavos” de metal que permitieron su explotación. Los minerales son sulfoarseniuros y sulfoantimoniuros (enargita y cobre gris).

“2° La Mejicana. — De una manera general se puede considerar los minerales de esta región como formados por vetas de pirita, por lo menos en profundidad, siendo la pirita más cuprífera, aurífera y argentífera en las partes superiores, y siendo completamente modificadas en las partes vecinas de la superficie, que en general fueron muy ricas en metales preciosos.

La veta San Pedro ha presentado siempre concentraciones localizadas de cobre en sus partes ricas de enargita y famatinita. La Mejicana se encuentra totalmente entre las pizarras en algunas partes en contacto con macizo granítico ó con intrusión de pórfidos.

3° La Eneruejada. — Forma la parte norte del cerro de Famatina, región todavía mal conocida, llamada á despertar más tarde gran interés.

•La pizarra ó los esquistos predominan y muy metamorfosados debido á la magnitud de los movimientos que afec-

taron esta región, á tal punto que los esquistos se encuentran casi verticales, encontrándose también intrusiones eruptivas y entre éstas varias rocas verdes con inclusiones metálicas de evidente relación con la venida cuprífera. Esta región será la de las vetas de calcopirita quizás con menos oro y plata.

MINERALES DEL GRUPO DE LA «ENCRUCIJADA»

	I	II	III	IV	V
Humedad . . . . %	0,550	0,340	0,280	0,260	0,160
Ganga . . . . .	53,276	33,825	38,866	51,910	35,640
Cu . . . . .	4,790	10,460	9,500	3,390	1,490
Pb . . . . .	—	—	—	—	—
As . . . . .	0,045	0,065	0,030	V.	0,085
Sb . . . . .	—	—	—	—	—
Fe . . . . .	22,520	31,828	34,160	36,650	39,980
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,240	3,845	3,250	4,250	2,520
Zn . . . . .	—	—	—	—	—
CaO . . . . .	1,210	0,760	0,550	0,350	2,650
MgO . . . . . »	V.	V.	V.	V.	V.
BaO . . . . .	—	—	—	—	—
S. total . . . . . »	15,102	17,637	14,720	3,780	16,956
CO <sub>2</sub> . . . . . »	—	—	—	—	—
Ag por Tonel. »	<sup>k</sup> 0,020	<sup>k</sup> 0,025	<sup>k</sup> 0,010	<sup>k</sup> 0,015	<sup>k</sup> 0,035
Au » »	—	—	—	—	V.

MINERALES DEL GRUPO DE LA «MEJICANA»

	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Humedad..... %	0,755	0,185	0,225	0,195	0,115	0,115	0,325	0,896	—
Ganga .....	29,950	21,804	8,730	13,178	28,969	9,540	50,308	8,320	11,504
Cu .....	19,650	18,230	26,380	5,430	16,480	31,000	3,310	38,240	41,770
Pb .....	—	—	—	—	—	—	0,987	—	0,360
As .....	—	5,117	8,420	0,612	2,102	8,840	0,180	13,690	1,756
Sb .....	—	0,814	—	—	1,571	3,678	—	—	0,230
Fe .....	19,620	20,160	20,860	44,780	22,350	17,735	14,802	10,233	33,070
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5,620	5,850	3,175	9,320	8,550	2,645	6,258	1,407	—
Zn .....	—	1,407	—	—	—	—	—	—	—
CaO .....	7,103	2,830	2,215	1,680	0,635	0,126	9,238	0,236	—
MgO .....	0,980	0,395	1,110	V.	0,226	V.	1,165	—	—
BaO .....	—	V.	0,675	—	—	—	—	—	—
S. total .....	2,748	21,261	26,895	22,757	17,576	26,657	8,809	25,883	10,545
CO <sub>2</sub> .....	9,464	0,317	2,520	—	—	—	2,844	1,362	—
Ag por Tonel. . . .	—	k 0,800	—	k 0,324	—	—	k 0,900	—	k 0,235
Au » » .....	—	V.	—	—	—	—	—	—	—

## CAPITULO III

---

### METALURGIA DEL COBRE

---

El cobre se extrae de los minerales esparcidos en la naturaleza bajo sus diferentes formas de combinaciones con otros elementos, existiendo además yacimientos importantes de cobre nativo en el lago Superior (Estado de Michigan) y en Méjico. De todos los minerales de cobre los más importantes son por su abundancia aquellos en los cuales este metal se haya combinado al azufre.

La extracción del cobre de los minerales descansa sobre los hechos siguientes: el hierro tiene para el oxígeno mayor afinidad que el cobre, el cobre tiene para el azufre más afinidad que el hierro y el azufre del sulfuro de cobre tiene para el oxígeno de los óxidos del cobre una afinidad más grande que para el cobre mismo. Estas propiedades que son la base de la metalurgia del cobre, hacen que esta sea de las más delicadas y complicadas por la série de operaciones que son necesarias realizar para la obtención de un cobre puro, trayendo como consecuencia un recargo en el precio de costo del metal. Los estudios emprendidos en vista de mejorar las condiciones de obtención, suprimiendo en lo posible las manipulaciones costosas hacen que la metalurgia de este me-

tal por vía térmica sea reemplazada paulatinamente por el procedimiento electrolítico que ofrece no pocas ventajas, pero las costosas instalaciones existentes á más de las necesarias que requiere el procedimiento electrolítico, hacen que este método no esté más difundido.

**Minerales utilizados.**—Citaré para memoria los minerales más importantes empleados en la metalurgia.

Cobre nativo.—MINERALES OXIDADOS.—Oxidulo de cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) con 88.8 % de cobre; Pelokonita ú óxido negro ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 79.8 %; Malaquita ( $\text{H}_2\text{Cu}_2\text{CO}_3$ ) con 57.33 %; Azurita ( $\text{H}_2\text{Cu}_3\text{C}_2\text{O}_4$ ) 55.16 %.

**Minerales sulfurados.** — Calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) 79.89 %; Calcopirita ( $\text{Cu Fe S}_2$ ) con 34.4 % es el mineral del cual se extrae la mayor parte del cobre mundial; Cobre abigarrado ó Bornita ( $3\text{Cu}_2\text{S Fe}_2\text{S}_3$ ) 55.6 %; Enargita ( $\text{Cu}_3\text{As S}_4$ ) 48.21 %; Famatinita ( $\text{Cu}_3\text{Sb S}_4$ ) 43.2 %; etc.

## EXTRACCION DE COBRE

El cobre puede ser extraído de sus minerales y de productos metalúrgicos cupríferos por tres métodos principales: 1o. Por vía seca ó ígnea; 2o. Por vía húmeda; 3o. Por vía electrolítica. Las operaciones que constituyen estos diferentes procedimientos son basadas sobre las reacciones del cobre indicadas más arriba.

La vía térmica trata con preferencia minerales de mayor riqueza y productos metalúrgicos de regular tenor.

Por la vía húmeda se tratan aquellos minerales cuyo porcentaje en cobre no permite el tratamiento anterior por el gasto de combustible en pura pérdida.

El tratamiento por electrólisis es hasta ahora empleado para la extracción de los minerales en casos aislados, pero en cambio, existen hoy día muchas instalaciones para purificar el cobre conteniendo oro, plata ú otros elementos.

**Procedimiento por vía seca.** — Por este procedimiento se tratan los minerales cuyo tenor en cobre es superior á 3 por ciento, dejando los de menor riqueza para tratarlos por la vía húmeda.

Por la vía seca se aprovecha de la afinidad del cobre para el azufre que hace que cuando se funde el mineral el cobre queda con el azufre, mientras los otros metales pasan en las escorias siempre que se hayan sometido los minerales á una tostación previa, que tiene por objeto oxidar los otros metales y quemar el exceso de azufre que provocaría la formación de sulfuros metálicos, los cuales se unirían al sulfuro de cobre. Así pues, las operaciones se reducen en síntesis : 1o. Tostación del mineral ; 2o. Primera fusión con el objeto de obtener una "mata" ó "eje" de cobre conteniendo ya de 25 á 30 o/o de cobre bajo forma de subsulfuro de cobre ; 3o. Nueva tostación del eje obtenido anteriormente, seguido de una fusión, se tiene así un "eje de cobre negro" conteniendo de 40 á 60 o/o de metal constituido por una mezela de óxido y subsulfuro de cobre ; 4o. Por fin el eje, sometido sucesivamente á una fusión oxidante y reductora, suministra el cobre bruto de 96 á 98 o/o, que se purifica posteriormente por electrólisis.

La tostación no es necesaria en los minerales oxidados, pero en los sulfurados necesita efectuarse con precaución,

pues si se la lleva demasiado lejos eliminaría una parte del azufre necesario á la formación del subsulfuro y parte del cobre pasaría entonces en las escorias.

**Tostación.** — Esta operación puede efectuarse de diferentes modos : 1o. Tostación en pila ; 2o. En estalo ; 3o. En horno de cuba ; 4o. En horno de reverbero.

1o. La tostación en pila es ciertamente la más económica, pero la duración de la operación es larga y en ella se pierden totalmente los gases formados por la combustión del azufre. Se practica haciendo pilas con el mineral, iniciando la combustión con un fuego de leña colocado en el centro de la pila, ésta continúa á expensas del azufre del mineral.

La cantidad de mineral en pila puede alcanzar dos mil toneladas ; con el fin de eliminar los gases de combustión se puede disponer sobre la pila un cobertizo haciendo oficio de campana, llevando los gases á una chimenea. En esta combustión el aire llega por la superficie, quema el azufre y el hierro ; en la parte central donde la llama no alcanza aún, el azufre destila, transformando el cobre reducido de la superficie en sulfuro ; este sulfuro se concentra hacia el centro de la pila, de manera que se obtiene en la parte central un mineral de cobre concentrado y en la superficie óxido de hierro mezclado con óxido de cobre ; la riqueza del mineral de cobre así obtenido es de 15 á 20 o/o. tratándose de un mineral conteniendo de 3 á 4 o/o. Este procedimiento es practicado en Italia y en algunas minas alemanas. Se puede renovar la tostación mezclando el mineral obtenido con coque de cobre, concentrándose paulatinamente el metal ; se designa esta operación con el nombre 'tostación múltiple'.

**Tostación en estalo.** Es en sus grandes Lneas idéntica á la precedente, diferenciándose en que las canchas sobre las cuales se forman las pilas de mineral tienen un piso impermeable y los costados son limitados por paredes. El objeto principal de este dispositivo es permitir recoger una gran parte del azufre fundido y que en el procedimiento anterior, es totalmente perdido.

Los modelos de estalos difieren según las regiones donde se practica este sistema. Las ventajas de este procedimiento es de permitir la tostación de cantidades menos considerables de materia prima, lo que facilita la renovación de una manera casi continua del mineral tratado. Además, por su dispositivo se puede recuperar una gran parte de los gases que se desprenden, así como vigilar la combustión, que no debe pasar un cierto límite si no se quiere tener escorias conteniendo notables cantidades de cobre.

**Tostación en horno á cuba ó kilns.** — Este método tiene sobre los precedentes la ventaja de poder efectuarse sin combustible cuando se tratan minerales de una riqueza en azufre conveniente : además permite emplear los gases que se desprenden para la fabricación del ácido sulfúrico y la operación se efectua de una manera continua, causa por la cual ha desterrado los anticuados sistemas mencionados. Una razón no menos atendible era los daños que producían en los cultivos la producción de anhídrido sulfuroso al aire libre, sin contar los peligros que ofrecía á los operarios que trabajaban en esta industria. Para que los gases que se desprenden puedan ser utilizados á la fabricación del ácido sulfúrico, es necesario que contengan como mínimo 8 volúmenes por ciento de anhídrido sulfuroso.

Los modelos de hornos empleados para esta operación

varían al infinito con las modificaciones traídas por perfeccionamientos tendientes todos ellos á asegurar la marcha normal de la tostación y que se produzca de una manera continua y automática ; todo responde á un fin, suprimir en lo posible la intervención de la mano de obra.

Entre los hornos mas empleados citaremos los de Malettra, Mac-Dougall y el rotatorio de Brückner, todos funcionan de una manera continua mediante el empleo de la fuerza mecánica que asegura al mismo tiempo la alimentación y renovación de la materia prima. De una manera general en el funcionamiento de estos hornos es necesario evitar la fusión del mineral que tendría por inconvenientes. 1° La aglutinación de los mismos en perjuicio de la buena marcha del horno; 2° La formación de óxido cúprico, que en la fusión posterior en vista de obtener el eje bruto, provocaría el paso del metal en las escorias con las pérdidas consiguientes.

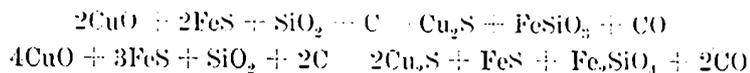
**Tostación en Hornos de Reverbero.** -- En este sistema se prescinde de la utilización de los gases para la fabricación del ácido sulfúrico, exige la trituración del mineral, un gasto notable de combustible y de mano de obra, pero el procedimiento es expeditivo y permite alcanzar rápidamente el grado de desulfuración necesario; además el antimonio, el arsénico pueden ser completamente eliminados. En estos últimos tiempos el sistema recibió perfeccionamientos que facilitan el automatismo de las operaciones. Como la reducción se efectúa mediante el calor transmitido por el carbón se pueden tratar indistintamente minerales oxidados ó sulfurados.

Existen varios modelos entre los cuales los más perfeccionados son el de "O'Harra-Brown-Allen" y el de "Parkes". En estos los minerales son removidos y arrastrados

ségún una dirección por acción mecánica, y la desulfuración es producida por la llama reductora de un hogar. El modelo "O'Harra-Brown-Allen", es el mas empleado actualmente, en él se puede tratar de 25 á 30 toneladas de mineral en 24 horas para un consumo de 2 toneladas de combustible.

**Fabricación del Eje.** --- La fusión reductora del mineral previamente tostado suministra por una parte, una escoria silicea y por otra un eje que contiene casi todo el cobre con hierro, zinc, antimonio, arsénico, bismuto, etc. Las operaciones necesarias para la obtención del "eje bruto" ó "crudo" pueden efectuarse de dos maneras distintas y constituyen los métodos conocidos bajo los nombres de: "método continental ó alemán" en el cual se hace uso casi exclusivamente de los hornos de cubas y el "método inglés" en el cual la fusión se efectúa en hornos á reverbero. La diferencia esencial consiste en que el método continental, la reducción es llevada á un más alto grado por restar el mineral mezclado con el carbón y un fundente apropiado. En el método inglés ó de reverbero la reducción no es tan completa y se aprovecha la llama del combustible puesto en un hogar separado. Los resultados son inmejorables en los dos casos en usinas bien dirigidas, la aplicación de uno ú otro método depende de la ubicación y precio del combustible.

**Fabricación por el método continental.** — Se efectúa en hornos verticales, existiendo varios modelos más ó menos perfeccionados. Se llena el horno del mineral tostado mezclado con carbón para aprovechar todo el calor de combustión y tener una acción reductora enérgica. Las reacciones químicas que tienen lugar pueden representarse por las ecuaciones siguientes:



Una parte de los óxidos de cobre es reducida por el C O y el carbón en cobre metálico el cuál á su vez es transformado á expensas del azufre de una parte del sulfuro de hierro que se separa el estado metálico ( $2\text{Cu} + \text{FeS} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{Fe}$ ) ó tambien á un grado menor de sulfuración ( $2\text{Cu} + 2\text{FeS} + \text{Cu}_2\text{S} + \text{Fe}_2\text{S}$ ) á pesar de no haber sido aún constatado la existencia de  $\text{Fe}_2\text{S}$ . Independientemente de las reacciones principales enumeradas anteriormente, se producen además otras secundarias que tienen cierta analogía con las que tienen lugar en el procedimiento inglés, esto es la reacción de los óxidos de cobre sobre los sulfuros de cobre y de hierro.

En el Mansfeld, se procede de la manera siguiente:

La calefacción es obtenida con el coke, se hace en un horno á cuba de manera que el metal fundido caiga en el crisol dispuesto en la parte inferior del horno y la escoria se escurre por aberturas situadas á un nivel superior del crisol, también se utiliza un dispositivo en el cual los productos de la fusión (escorias y metal fundido) corren fuera del horno siendo recogidos en cubetas donde se colocan por orden de densidad. Las toberas insufflan el aire necesario por orificios colocados de 70 á 80 cent. sobre el nivel de la solera del crisol, con una presión de 1.5 metro de agua, el aire insuflado es calentado á 200° grados próximamente por los gases que se desprenden del horno.

Con un mineral bien tostado el peso del eje obtenido es próximamente el 6 por ciento del mineral tratado, con una riqueza que varía de 30 á 40 por ciento de cobre, pasan siempre en las escorias un dos por mil de metal. Con un horno de dimensiones corrientes se pueden tratar 170 á 200 tonela-

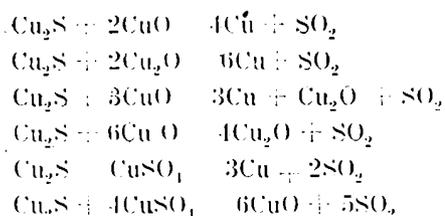
das de mineral por 24 horas con un gasto de 180 á 200 kilos de coke por tonelada.

**Hornos americanos.** -- Un inconveniente del método continental es exigir un gasto notable de materiales refractarios. los Americanos en vista de esto, lo sustituyeron por hornos metálicos con refrigeración de agua, son los "Water-Jacket" ó bien por hornos rectangulares construídos con ladrillos comunes. En los primeros la forma es circular ó elíptica para facilitar la instalación de numerosas toberas que insuflan el aire á 30 cent. del fondo de arcilla del horno. El mineral fundido es recogido en un crisol montado sobre ruedas. Un horno de 1.5 metro de diámetro por 4 de alto puede tratar de 65 á 70 toneladas de mineral con un gasto de 20 por ciento de coke. En cuanto á los hornos rectangulares son empleados cuando se debe tratar un mineral mas siliceo para lo cual es necesario elevar la temperatura al punto que deterioraría el Water-Jacket metálico. Un horno de 3 metros por 6 teniendo las paredes 50 centímetros de espesor puede tratar cien toneladas por día con un gasto de 15 o/o de coke.

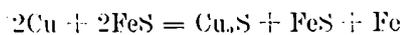
**Fabricación del eje con el horno á reverbero** (método inglés). -- En general la acción reductora es menos enérgica, el óxido de hierro no es reducido y las escorias siendo menos fluidas arrastran mecánicamente granallas de cobre. La composición de los minerales tostados para tratarlos por este método, es en su mayor parte formada por óxidos y sulfuros de hierro y cobre, contienen además pequeñas cantidades de sulfato de cobre, debiendo ser los óxidos y sulfatos transformados en sulfuros y reunidos en el eje. Los minerales deben contener lo suficiente de sílice para que

no sea necesaria la adición de cantidades muy grandes de fundente, de lo contrario se tendrían masas considerables de escorias que ocasionarían pérdidas de cobre. Generalmente se hacen mezclas de minerales cuarzosos con escorias básicas de operaciones anteriores.

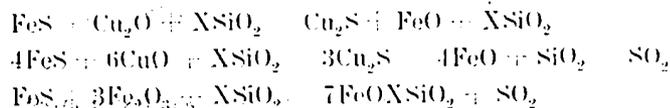
Desde que la temperatura de reacción es alcanzada una parte de los óxidos así como los sulfatos de cobre dan nacimiento con el sulfuro del metal á cobre metálico ó mezclas de oxidulo y bióxido de cobre, se puede representar las reacciones que se efectúan según las ecuaciones siguientes:



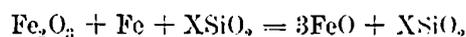
Parte del sulfuro de hierro es descompuesto y absorbido por el cobre metálico:



Estos actúan nuevamente sobre el sulfuro de cobre no descompuesto. En presencia de la sílice el óxido férrico se combina:



si se forma hierro metálico este en presencia del óxido del mismo y de la sílice es descompuesto según:



Los otros elementos tales como arseniatos, antimoniatos son, parte reducidos á sulfuros que pasan al eje, parte descompuestos por la sílice. Los sulfuros de zinc, plomo y plata pasan al eje.

FABRICACION DEL EJE EN SWANSEA.—Se mezclan los minerales mas diversos (piritas, cobre gris, óxidos silicatos, carbonátos) con escorias de operaciones anteriores, de manera á obtener una masa con 8 ojo de cobre, se tuesta rápidamente en horno á reverbero, la operación una vez terminada se hace caer el mineral por una tolva en el horno de fusión extendiéndolo uniformemente sobre la solera del mismo, se activa el fuego; después de cinco horas, la fusión es completa se brasea eliminando las escorias, se renueva la carga de mineral. Finalmente cuando la solera está totalmente cubierta por el metal en fusión se abre el orificio de colada haciendo caer el metal fundido en el agua para granularlo. Para una carga de 1.500 kilos se obtiene 300 kilos de eje de 30 á 40 ojo de cobre, el gasto de combustible alcanza 800 kilos por tonelada, como puede verse el rendimiento en calor es menor que en el método continental, pero es compensado por el precio reducido del combustible en esa región, la ventaja del sistema es de eliminar la mayor parte del arsénico y antimonio al estado de sulfuros. En el Caucaso se han ensayado con buen resultado hornos á nafta.

TRANSFORMACION DEL EJE CRUDO EN COBRE NEGRO.—Esta operación tiene las mismas particularidades según se aplique uno de los métodos continental ó inglés, un

tercer método deriva de la aplicación del convertidor Bessemer modificado.

1. "Método continental".—El horno de cuba es menos ventajoso para esta operación que el empleo del horno de reverbero porque la eliminación del arsénico y antimonio no es tan completa, lo que hace que el procedimiento caiga en desuso. Las manipulaciones consisten en una serie de tostaciones alternadas de fusiones reductoras repetidas hasta obtener un eje conteniendo por lo menos 60 por ciento de cobre. Se podría efectuar una sola fusión reductora, pero el hierro se reduciría también, para evitar este inconveniente se agrega una cantidad calculada de sílice para formar escoria arrastrando la mayor parte del hierro y 2 á 3 por ciento de cobre.

2º "Método inglés".—Se efectúan dos operaciones; a) tostación y fusión de concentración; b) tostación y fusión del "eje blanco".

a) se tostan los ejes de bronce esparciendo sobre la solera del horno de reverbero una cantidad más ó ménos grande de materia prima, según las dimensiones de este, formando una capa de 20 á 30 centímetros de espesor, se calienta al rojo sombrío, luego se agrega de 400 á 500 kilos de carbón por tonelada de eje, se burgonea fuertemente repetidas veces. La solera del horno es ligeramente cóncava de manera que permite la salida por el orificio de colada de todo el producto de la fusión (eje y escoria) que se hace correr por cañaleras de arena. Se deja enfriar y se separa con el martillo la escoria del "eje blanco". La operación

se efectúa frecuentemente sobre tres toneladas de eje bruto adicionado de materias silíceas y de 300 kilos de carbón por tonelada de mineral. El eje blanco así obtenido contiene 80 p. 100 de cobre.

b) “Tostación y fusión del eje blanco”.—Se tuesta en horno de reverbero dejando las aberturas laterales abiertas á fin de provocar una oxidación que elimine la mayor parte del azufre restante. Cuando se nota la formación de costras en la superficie del metal en fusión se cierran las aberturas laterales, se activa el fuego para reducir las últimas porciones de sulfuros, alcanzado este término se abre el orificio de colar por donde sale un metal á 98 p. 100 de cobre (cobre bruto).

3° “Método por el convertidor Bessemer”. — El principio de este aparato es permitir la oxidación en una fusión impura de substancias que no sea el hierro por medio de una insuflación de aire en la masa de metal líquido, y separarlos así del metal puro que se quiere obtener. Estas substancias son el carbono, el silicio y el manganeso. Cuando se trata del cobre la operación se complica por la necesidad de eliminar el azufre y también el hierro, además estos elementos al combinarse con el oxígeno desprenden menos calorías que aquéllos, lo que dificulta mantener la temperatura elevada necesaria. El empleo del convertidor Bessemer, tal cual sirve para la decarburación del acero no podía ser aplicado al cobre, debido á la mayor fluidez de este metal que obturaba los orificios de las toberas dificultando la operación á más de la gran cantidad de escorias producidas. Manhes consiguió subsanar todos estos defectos modificando convenientemente el dispositivo. El convertidor calentado al rojo recibe el me-

tal fundido del horno de reverbero y se insufla el aire con una presión de 25 á 30 centímetros de mercurio, la operación termina en 20 minutos, se decantan las escorias y se cuele el cobre fundido (de 98.8 por 100) en lingoteras.

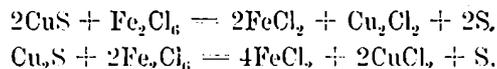
“Refinación del cobre bruto”.—Tiene por objeto eliminar las impurezas que quedan en el cobre tratado por los métodos anteriormente descritos, se consigue provocando la formación de óxido cuproso que con azufre, antimonio, níquel, cobalto y plomo, formarán una escoria básica que se elimina. El cobre restante tiene un color ‘rosado’, de ahí el nombre, debido á la presencia en la masa de cantidades más ó menos grandes de óxido cuproso. La operación se efectúa en dos tiempos en el horno de reverbero, 1º oxidación para favorecer la formación del óxido cuproso produciendo escorias con las impurezas. 2º reducción por el carbón de leña del metal purificado previa eliminación de la escoria de impurezas.

TRATAMIENTO DE LOS MINERALES POR VIA HUMEDA.— Por este método se tratan los minerales cuya riqueza es inferior á 3 p. 100 y preferentemente las combinaciones oxidadas, conviene particularmente para materiales de ganga cuarzosa, por ser ésta inatacable por los ácidos; los minerales calcáreos ó carbonatados exigen mayor cantidad de ácido, si se trata de productos sulfurados, una tostación previa es necesaria para transformarlos en sulfatos, se puede igualmente efectuar una tostación clorurante con cloruro de sodio. En general obtenida la sal soluble de cobre se lejiva y se precipita el cobre de la solución, por el hierro. A pesar de tratar minerales pobres, el cobre obtenido por este proce-

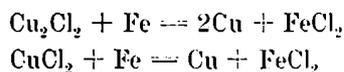
dimiento ("cobre de cementación") representa el 40 p. 100 de la producción mundial.

Diferentes sistemas son los empleados para obtener el cobre por vía húmeda. En las minas de Río Tinto (España) se tuestan los minerales provocando la formación de sulfatos, luego son extendidos sobre canchas provistas de doble fondo y por lexicación con agua se disuelven los sulfatos, la solución recorre un largo camino de canaletas conteniendo residuos de hierro; el cobre se deposita, mientras la solución es nuevamente utilizada para otra extracción. El agotamiento total es largo pero económico.

En el procedimiento Doetsch, se mezcla el mineral finamente triturado con cloruro de sodio y sulfato ferroso; en presencia del agua y del aire se forma sulfato sódico y cloruro férrico.



El cloruro cúprico pasa en la solución y como precedentemente se precipita el cobre metálico por el hierro.

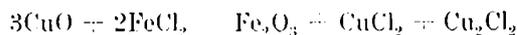


Posteriormente el cloruro ferroso es llevado al máximo de cloruración con el objeto de utilizarlo nuevamente para lo cual se hace caer la solución en cascadas en una torre llena de coke donde se satura del cloro necesario proveniente de la reacción siguiente realizada en un horno de reverbero:

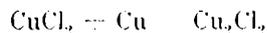


En el procedimiento Hunt y Douglass se tuesta el mineral hasta obtener la transformación del cobre en óxido de cobre siendo después atacado por una solución de cloruro ferroso producida por la reacción del cloruro de sódio sobre el sulfato ferroso á 80°.

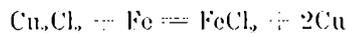
El mineral es tratado durante el tiempo necesario con esta solución en grandes cubas, para facilitar su disolución,



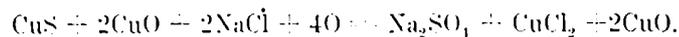
y que se hace pasar sobre granalla de Cu para saturarla



finalmente sobre residuos de hierro para precipitar el cobre



“Tratamiento clorurante”.—Se practica mezclando el mineral con cloruro de sódio en el horno rotativo de Gibbs ó Brückner lo que permite operar de una manera casi continua: 15 toneladas de mineral pueden ser tratadas en 24 horas, la temperatura de reacción es de 600°; se desprende anhídrido sulfuroso y parte de ácido clorhídrico que se condensan en una torre de coke con caída de agua. Las aguas cargadas de disolvente son utilizadas para lejivar nuevas porciones del mineral. La reacción puede expresarse:



El cobre obtenido por cualquiera de los métodos indicados y llamado "cobre de cementación" sería impropio para los usos industriales siendo necesario proceder á una fusión reductora del precipitado, lo que se efectúa en hornos de reverbero.

"Tratamiento electrolítico".—A raíz del descubrimiento de las máquinas, dinamos eléctricas (1871) se ha buscado de utilizar para la extracción del cobre de sus combinaciones la corriente eléctrica, siendo los procedimientos por vía húmeda los que llamaron primeramente la atención. Respecto del procedimiento por vía térmica aún no se conoce sistema que haya dado resultados positivos. Por vía húmeda, al contrario se ha podido llegar á una buena utilización de la corriente sobre todo aplicada á la separación de cobre conteniendo oro y plata, consiguiendo hacerlo con resultados positivos tanto al punto de vista técnico como económico; es el sistema más perfecto de refinación del cobre.

A pesar que la posibilidad de emplear la electricidad para la extracción del cobre de los minerales y productos de fusión ó ejes, haya sido demostrada prácticamente, los resultados que se obtienen en grande, no son del todo satisfactorios económicamente, bien que existen dispositivos muy racionales como lo son los de "Höpfner y Siemens y Halske". En la práctica se recurre á este método únicamente para purificar el cobre, sobre todo cuando el precio corriente del metal es algo elevado.

Podemos considerar tres casos en la preparación electrolítica del cobre. 1º Extracción directa de minerales; 2º Extracción de los ejes; 3º De las aleaciones.

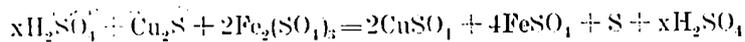
Los procedimientos de extracción del cobre de los minerales, se basan en el empleo de anodos insolubles, es decir,

preparación de la solución cúprica fuera del circuito, y sobre la supresión parcial por la acción secundaria del "anión" sobre el electrolito, de la fuerza contra-electromotriz producida por la corriente á causa de la descomposición de la solución cúprica.

La acción de los anodos solubles por la disolución de los cuales la fuerza contra-electro motriz es parcialmente anulada, es reemplazada aquí por una oxidación ó cloruración del electrolito que baña los anodos, por el anion, es decir por el oxígeno ó cloro.

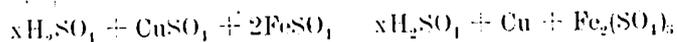
En los dos casos se disuelve el sulfuro ó mineral de cobre, por una lexiviación en tanques apropiados y fuera del circuito: la solución es llevada primeramente á los catodos de la corriente donde el cobre es separado y luego llevada á los anodos donde se regenera por oxidación ó cloruración para ser nuevamente utilizada.

La disolución del cobre de los minerales que lo contienen abastado de sulfuro, se efectúa con una solución de sulfato férrico, según la ecuación.

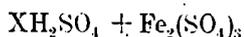


La solución así preparada pasa en contacto de los catodos donde se deposita el cobre, luego atraviesa un diafragma filtro para tomar contacto con el anodo, donde el radical  $SO_4$  transforma el sulfato ferroso de la solución en sulfato férrico.

El proceso electrolítico puede expresarse según:



obteniendo así al anodo el disolvente primitivo:



que se vuelve á poner en contacto con minerales.

Además en la transformación del sulfato ferroso en férrico se produce una cantidad de calor que es parte anulada por la fuerza contra-electromotriz provocada por la descomposición del cobre al catodo. El calor desprendido por la reacción puede expresarse en calorías gramos alcanzando para una molécula de sulfato férrico á:

$$\begin{array}{r} 224.88 \text{ Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ cal} \\ - 186.40 \text{ 2FeSO}_4 \text{ »} \\ \hline = + 38.48 \text{ Calorías} \end{array}$$

Prácticamente el dispositivo consta de tanques de madera en el fondo de los cuales está dispuesto el anodo formado por una serie de láminas de carbón de retorta ligado por un conductor aislado al polo (+) de la máquina; sobre el anodo se encuentra un filtro que hace oficio de diafragma los catodos son constituídos por una serie de rollizos de madera forrados de metal conductor y ligados al polo (-); un dispositivo adecuado permite imprimir un movimiento lento de rotación á los cilindros, conveniente para la uniformidad del depósito. La solución pasa como lo he dicho por la parte superior (catodo) atraviesa el fieltro poniendose en contacto con el anodo donde se efectúan las reacciones ya indicadas pasando luego al falso fondo donde es extraída por un sifonamiento continuo. La diferencia de potencial es de 0.7 volt y la densidad de corriente de 16 amperes por metro cuadrado de catodo.

Para una instalación constando de una serie de baños

como los he descrito y produciendo 1000 kilos de cobre se necesitan 400 amperes y 100 volts. El precio de fabricación es superior á 400 marcos por tonelada, teniendo como fuerza motriz el vapor; (70 caballos son necesarios para una producción de 1000 kilos diario). En caso de utilizar una caída de agua el precio de costo puede reducirse á 200 marcos más o ménos.

En la usina de Cazarza (Italia) el sistema adoptado era de anodos solubles, teniendo una composición tal que la cantidad de hierro y cobre fueran sensiblemente igual ó inferior al equivalente de  $\text{SO}_4$  libertado, necesario para disolverlos sin lo cual la concentración creciente del baño en sales de hierro haría que estas se precipiten en perjuicio del buen funcionamiento de la instalación.

A pesar de todos los resultados obtenidos no fueron completamente satisfactorios.

---

## CAPITULO IV

---

### UTILIZACION DE LOS MINERALES ESTUDIADOS PARA

#### LA FABRICACION DE ACIDO SULFURICO

---

Es por demás sabido que para las industrias en general y la metalurgia en particular, el elemento indispensable es el carbón, sin el cual ninguna de éstas pueden subsistir; su importancia cada vez mayor, ha contribuido en gran parte para fomentar el progreso de la humanidad, que celosa de conservar tan precioso elemento se esfuerza por encontrar los medios de reemplazarlo por otras fuentes de energía, á fin de moderar el consumo, hoy prodigioso, que amenaza el agotamiento de las reservas en un porvenir más ó menos cercano.

Al estudiar los minerales de cobre como materia prima para la fabricación del ácido sulfúrico, me guiaba el propósito, quizás infundado, de modificar si fuese posible los métodos de extracción actualmente en uso en la región donde benefician minas de este metal, reemplazando la vía térmica por la húmeda. En efecto, la falta absoluta de combusti-

ble natural, depara á toda la minería argentina la suerte de ser tributaria de los países productores del elemento indispensable á la industria metalúrgica, al punto de poder afirmarse á esta razón se debe la situación precaria de una de las mayores fuentes de riqueza del país ; muchos otros factores concurren á impedir el desarrollo natural de la minería, la carestía de los fletes, la escasez de vías de comunicación, etc., bien que los poderes públicos la fomenten por todos los medios : el alambre-carril de Famatina ha contribuido poderosamente á que los minerales que se encuentran en las inmediaciones de su recorrido puedan ser beneficiados con algún provecho.

De manera que hallar un medio de subsanar la falta de combustible, limitando su empleo á lo estrictamente necesario, sería hallar el modo de favorecer el adelanto de una región llena de riquezas, así como el fomento de una de las industrias que más de un provecho reportaría.

La energía que se necesita para realizar las diferentes operaciones metalúrgicas y que hasta ahora se ha sacado del carbón, podría ser sustituida por la de la "hulla blanca", como se llama actualmente á la energía que nos brinda la naturaleza con el elemento "agua" en sus diferentes manifestaciones.

Como en toda región montañosa, el sistema hidrográfico del Famatina se halla abundantemente representado, no siendo difícil creer que se pueda sacar en más de un sitio una suma de energía suficiente para el caso que nos interesa.

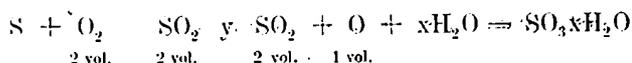
Ya hemos visto en el capítulo que trata de la metalurgia del cobre cuánto se puede esperar de la extracción de los metales por vía electrolítica, y si bien es cierto que aún no se han obtenido en grandes explotaciones, resultados que permitan sustituirla á las operaciones que se efectúan por vía

térmica, esto se debe más á dificultades de orden económico que técnico ; en efecto, la utilización de una caída de agua disminuye en un 50 por ciento el precio de costo del cobre obtenido por electrólisis cuando se emplea la energía almacenada en la hulla. Pero este método exige la intervención de un disolvente para obtener el electrólito y en este caso nada más natural pensar en aprovechar el que se puede obtener de los minerales mismos, tratándolos convenientemente para fabricar el ácido sulfúrico.

Desgraciadamente y sin que esto excluya una opinión más autorizada, veremos en lo que sigue que por lo menos los minerales examinados que podrían servir con este fin no poseen las condiciones requeridas por más de un concepto.

Sabemos que la preparación del ácido sulfúrico, bien sea por las antiguas cámaras de plomo ó por el sistema tangencial de Th. Meyer ó también por el método de contacto, se basa en la oxidación del anhídrido sulfuroso, gas producido por la combustión del azufre ó de minerales sulfurados por el oxígeno del aire con la intervención de un cuerpo oxidante  $\text{HNO}_3$  y en presencia del vapor de agua. En el método por contacto el agente oxidante es sustituido por una sustancia que interviene catalíticamente.

Las reacciones á que da lugar el proceso químico, son complejas, no siendo el caso entrar en sus detalles ; basta saber que dos volúmenes de oxígeno se combinan con un átomo de azufre para formar dos volúmenes de anhídrido sulfuroso, que para transformarse en ácido sulfúrico exigen aún un volumen de oxígeno (preescindiendo del agua) como lo indican las ecuaciones siguientes :



Esta reacción, que se efectúa cuando el azufre quema en el horno á expensas del oxígeno atmosférico, trae como consecuencia la introducción del volumen correspondiente de nitrógeno, que no interviene en la reacción, diluyendo considerablemente el gas activo que debe entrar posteriormente en las cámaras para transformarse en ácido sulfúrico.

Es comprensible que una dilución extremada implique el inconveniente de exigir cámaras de gran cubicación, lo que importa un aumento en los precios de instalación ; además, si los gases no tienen una concentración mínima determinada, la reacción se produce con suma lentitud, con perjuicio del rendimiento en la producción, etc. Autoridades en la materia, como Lunge, Scheurer-Kestner, Gerstenhoefer, Bode y otros que han estudiado el problema, demuestran que prácticamente la cantidad de oxígeno necesario á todo este proceso es muy superior á la teóricamente calculada partiendo de una materia prima de buenas condiciones ; así han constatado que, para que se efectúe la reacción en las cámaras, debe haber un exceso de oxígeno en los gases de salida, que varía según el autor entre 5 y 8 por ciento, lo que implica para los de entrada un exceso que la naturaleza de la materia prima determina ; si se emplea el azufre puro, éste es menor que para las piritas. En cambio, estas últimas contienen bases fijas que durante la combustión absorben notables porciones de oxígeno, contribuyendo el nitrógeno correspondiente á aumentar la dilución del gas activo. Observaciones practicadas por industriales experimentados aconsejan para una marcha en buenas condiciones, que los gases de entrada contengan un 8 por ciento de anhídrido sulfuroso expresado en volumen, es decir, que 100 volúmenes de gas de cámara deben contener 8 volúmenes de anhídrido sulfuroso ; valores menores traen como consecuencia un gasto ma-

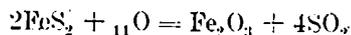
por de productos nitrados, cuya recuperación es costosa, lo que tiene gran importancia.

Las condiciones óptimas realizadas trabajando con una materia prima de buena calidad, la pirita pura por ejemplo, suministra gases con 8.5 por ciento de anhídrido sulfuroso; teniendo presente que en tal mineral el azufre entra por un 53.3 por ciento, de los cuales se calcula que cinco partes se desperdician. Si el mineral contiene una ganga, como es frecuente, ésta tiene aún mayor influencia sobre el rendimiento de anhídrido sulfuroso. éste va disminuyendo á medida que la ganga aumenta; los industriales tratan rara vez minerales cuyo tenor en azufre sea menor del 30 por ciento cuando la ganga es abundante, limitando ésta entre 10 y 15 por ciento. Entre las causas que impiden el tratamiento de tales minerales, están la mayor temperatura necesaria para la eliminación del azufre, la fusibilidad de las escorias que se aglutinarían en los hornos (todos ellos mecánicos hoy día), lo que á más de impedir su regular funcionamiento los pondría pronto fuera de uso; además, la presencia de materias extrañas como silicatos, cal, etc., disminuye la combustibilidad del mineral, la que se hace imposible cuando aquéllas se hallan en gran proporción, trayendo como consecuencia la necesidad de aumentar la cantidad de aire que disminuye el rendimiento de anhídrido sulfuroso.

Para tener una idea de la composición de los gases de cámara á la salida del horno, tomemos por ejemplo el caso de la combustión de una pirita para que contiene:

$\text{FeS}_2$	{	Fe.....	56	6	46.6 por ciento
		2S.....	64		53.3 »
			120		100 00

Si admitimos que durante la combustión la pirita se oxida totalmente según la ecuación :



y que el anhídrido sulfuroso exige 1 volumen de oxígeno para transformarse en anhídrido sulfúrico, encontraremos por un cálculo sencillo que 100 partes de pirita exigen, teóricamente, la cantidad de oxígeno siguiente :

Para oxidar el hierro . . . . .	20.—	grs.
” ” el azufre . . . . .	53.3	”
” ” el anhídrido sulfuroso . . . . .	26.6	”
	100.00	grs.

Es decir un peso de oxígeno igual á el de la pirita.

Las proporciones de oxígeno y nitrógeno contenidas en el aire son 21 del primero y 79 del segundo ; 1 litro de oxígeno pesa 1.4298 grs. ; 1 litro de nitrógeno pesa 1.2562 grs. si calculamos la cantidad de aire correspondiente tendremos :

	OXÍGENO		AZOE CORRESP.
	gramos	litros	litros
Para oxidar el hierro . . . . .	20	14	52.66
» » » azufre . . . . .	53.3	37.38	140.62
» » » anhídrido sulfuroso	26.6	18.69	70.31
	100.00	70.07	263.59

• Volumen total del aire á 0° y 760 = 333.66 litros.

Pero hemos visto que, para que las reacciones tengan lugar es necesario que haya un exceso de oxígeno, variable con la naturaleza de la materia prima empleada.

Este exceso debe ser tal que se encuentre en los gases de salida después de las reacciones y que según la opinión de fabricantes experimentados está comprendido entre 5 y 6 por ciento quemando azufre 6.6 á 7 por ciento quemando pirita (Gerstenhofer, Sheurer-Kestner, Bode, etc.)

Según Sheurer-Kestner, por ejemplo, para una buena marcha de las cámaras los gases de salida deben contener en volumen 93.6 de ázoe y 6.4 de oxígeno.

De manera que, para el caso que nos interesa, necesitamos á más de los 333.66 litros un exceso de aire que calcularemos tomando 6.4 como promedio de oxígeno.

Los 37.38 volúmenes de anhídrido sulfuroso más los 18.69 de oxígeno habiendo sido eliminados de las cámaras bajo forma de ácido sulfúrico, quedan á la salida después de las reacciones 363.6 volúmenes de ázoe, más el volumen de aire conteniendo el exceso de oxígeno en cuestión con su correspondiente volumen de ázoe; si llamamos X el exceso de oxígeno necesario tendremos:

$$263.6 + \frac{79}{21} X = X + 263.6 + \frac{100}{21} X$$

pero X debe ser el 6.4 o/o del volumen total, luego:

$$X = \frac{1}{15.625} (263.6 + \frac{100}{21} X) = \frac{263.6}{15.625} + \frac{6.4}{21} X$$

haciendo las operaciones se tiene:

$$X = \frac{6.4}{21} X + \frac{263.6}{15.625} \quad \text{ó} \quad \frac{14.6}{21} X = \frac{263.6}{15.625}$$

$$y: X = \frac{263.6 \times 21}{15.625 \times 14.6} = 24.26 \text{ litros de oxígeno}$$

Nitrógeno correspondiente 91.26 litros.

La composición de los gases de cámara será :

	LITROS	POR 100 VOL.
Anhidrido sulfuroso . . . . .	37,38	8,58 %
Oxígeno necesario para oxidar SO <sub>2</sub> 18,69	42,95	9,87 %
Oxígeno en exceso . . . . . 24,26		
Nitrógeno del oxígeno activo . . . 263,60	254,86	81,55 %
» en exceso 91,26		
	435,10	100,00 %

esta es una excelente composición para obtener un buen rendimiento.

Examinemos ahora algunos de los minerales analizados; números 2, 5, 8, 13 por ejemplo, que son relativamente ricos en azufre utilizable, pero que se diferencian en el tenor de ganga silícea, cobre, elementos que influyen sobre la composición de los gases. Un cálculo análogo á el que hemos efectuado con la pirita, nos dará los porcentajes de anhídrido sulfuroso que puede obtenerse tostando los diferentes minerales :

MINERAL	N.º 2	N.º 5	N.º 8	N.º 13
Ganga silícea . . . . .	33,825	35,61	8,37	8,32
Cobre . . . . .	10,460	1,49	26,38	38,24
Hierro . . . . . %	31,820	39,980	20,85	10,233
Azufre total . . . . . %	17,637	16,956	26,895	25,885
Azufre utilizable . . . . . %	13,837	14,140	18,900	14,665

Para el mineral N. 2 tendremos:

	OXÍGENO		NITRÓGENO
	en peso	vol.	en vol.
Oxígeno para oxidar el azufre . . . . .	13.887	9.720	35.566
» el anhídrido sulfuroso . . . . .	6.944	4.860	13.283
» el hierro . . . . .	12.750		33.575
» el exceso . . . . .		9.150	34.422
		<u>23.73</u>	<u>122.846</u>

Volúmen total de gases: . . . . . 146.575 litros

	Anhídrido sulfuroso para 100 volúmenes	6.4 %
n.º 5	» » » » »	6.2 »
n.º 8	» » » » »	8.2 »
n.º 13	» » » » »	8.8 »

Como se puede ver, los números 2 y 5 dan un gas impropio para la fabricación del ácido sulfúrico, y si bien es cierto que el porcentaje de anhídrido sulfuroso es apreciable, esto se debe á que los cálculos han sido hechos en condiciones favorables, pues es evidente que si una pirita pura necesita el exceso que Sheurer-Kestner indica, un mineral de la naturaleza del número 2 necesitaría uno mayor, que solo prácticamente se puede determinar por la alta proporción de ganga que dificultaría la combustión del mineral; se puede subsanar el inconveniente mezclándolo con otro más puro. En cuanto á los minerales números 8 y 13, el gas suministrado es bueno, pero el elevado porcentaje de cobre dificulta su empleo. Hemos visto que la metalurgia del cobre descansa esencialmente sobre la formación de compuestos sulfurados de este metal, mientras los otros son oxidados para permitir su eliminación con las escorias formadas, que se separan

posteriormente del eje, hay pues, una cierta incompatibilidad entre estos propósitos. En efecto, si se tuesta á fondo el mineral para obtener mayor rendimiento de anhídrido sulfuroso, se corre el riesgo de perder notables proporciones de cobre que al oxidarse pasa en las escorias ; en cambio, si se tuesta de manera á no alterar los compuestos sulfurados de cobre se aumenta considerablemente las causas de pérdida de azufre. Queda, sin embargo, un recurso, y es el de utilizar los ejes tratándolos en un horno especial (modelo de Gerstenhoefer) como lo practican en el Mansfeld, con productos de 28 o/o de hierro, 34 o/o de cobre y 28 o/o de azufre, porque se elimina previamente la sílice.

Otro inconveniente son las impurezas que contendría el ácido por la regular proporción de arsénico y antimonio que contienen los minerales, pero esto sería de poca importancia puesto que el producto se utilizaría exclusivamente para la metalurgia local.

Por estas razones, á mi juicio y prescindiendo del problema económico que habría que resolver, no creo conveniente tratar estos minerales para el ácido sulfúrico.

## CONCLUSIONES

---

Dado los caracteres geológicos de la región del Famatina, de cuya proveniencia son los minerales examinados, se puede considerar los yacimientos como pertenecientes á los denominados *Yacimientos en filones*.

---

En general, la riqueza en cobre de los minerales, frecuentemente acompañada de regulares proporciones de plata, permite que éstos sean beneficiados con provecho.

La espectrografía, aplicada en su forma más completa, constituye un excelente método de diagnosis de minerales.

---

La falta de combustible hace de la metalurgia el problema económico á resolver ; la proximidad de las "Salinas Grandes" ofrece un medio de sustituir la vía térmica por la húmeda.

---

Los minerales analizados no poseen las condiciones necesarias para poder utilizarlos en la fabricación del ácido sulfúrico

*Benjamin Tallibert.*

Buenos Aires, Junio 1912.

*Buenos Aires, Junio 15 de 1912.*

Pase á la Comisión examinadora N.º 22 para que se sirva estudiar la presente tesis.

JUAN F. SARRIY,  
Decano.

PEDRO J. CONI,  
Secretario.

Encontrándose esta tesis dentro de las condiciones del Reglamento de la Facultad, puede aceptarse.

*Buenos Aires, 25 de Junio de 1912.*

ENRIQUE HERRERO DUCLoux.—EDUARDO  
L. HOLMBERG.—CRISTOBAL M. HICKEN,  
—ANGEL GALLARDO.—JULES J. GATTI,  
—ENRIQUE J. POUSSART.—ÁTILO A.  
BADO.—JACINTO T. RAFFO.—GULLER-  
MO F. SCHAEFER.

## BIBIOGRAFÍA

- H. BURMEISTER.—Description physique de la République Argentine.  
DR. G. BODENBENDER.—Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba (tomo XVII).  
    »          »          .—Constitución geológica de la parte meridional de la provincia de La Rioja.  
P. VITEAU.—Anales del Ministerio de Agricultura—Informe sobre el estado de la minería en la provincia de La Rioja.  
VALENTÍN.—Bosquejo geológico de la R. A. (2.º Censo nacional - Anales del Ministerio de Agricultura - Padrón minero (año 1908).  
ING. E. AGUIRRE.—Anales de la Sociedad Científica Argentina.  
ING. E. HERMITTE.—Investigaciones geológicas.  
STELZNER Y GOTTSCHÉ.—Contribución sobre la geología y paleontología de la República Argentina.  
SCHILLER.—Informe sobre La Rioja.  
DR. L. BRACKEBUSCH.—Mapa geológico del interior de la R. A.  
H. D. HOSKOLD.—Minería de la República Argentina.  
E. HUNNICKEN.—Industria minera y metalúrgica de las provincias de La Rioja, Catamarca, Salta y Jujuy.  
F. TANNHÄUSER.—Petrographische Untersuchungen und jungaukanischen Gesteinen aus der Argentinische Republik, en Neues Jahrbuch für Mineralogie, Géologie und Paléontologie.  
DE LAPPARENT.—Traité de géologie et minéralogie.  
ED. FUSCH ET L. DELAUNAY.—Traité des gîtes minéraux et métallifères.  
TRUCHOT.—Les pyrites du Río Tinto.  
A. DE GRAMONT.—Annales de Chimie et Physique (tom. VII 1909).  
    »          »          .—Comptes-rendus (t. CXXIII 1894; t. CXX 1895).  
    »          »          .—Journal de Physique, 3ème série (t. 1, mars 1911).  
O. D. CHWOLSON.—Traité de Physique (t. II).  
GEORGES SALET.—Analyses Spectrales.  
LECOQ DE BOISBAUDRAN.—Spectres lumineux.  
HAGENBAUCH ET KONEN.—Atlas des spectres d'émission.  
W. MARSHALL WATTS.—Study of spectrum analysis.  
R. PRESENIUS.—Traité d'analyse chimique.  
G. LUNGE.—Analyse chimique industrielle.  
AD. CARNOT.—Traité d'analyse des substances minérales.  
J. REBAN.—Traité d'analyse chimique quantitative par électrolyse.  
P. TREADWELL.—Chimica analítica.  
A. METRICE.—Analyse quantitative des Matières Minérales.  
G. CAMPREDON.—Guide du chimiste métallurgique.

- E. PROSL. Manuel d'analyse chimique.  
WAGNER, FISCHER ET GAUTIER. Traité de chimie industrielle.  
C. CHABRIE. Chimie appliquée.  
E. MOLINARI. Chimica inorganica.  
H. MOISSAN. Traité de chimie générale.  
C. SCHARABEL.—Métallurgie du cuivre, plomb, argent, or.  
AD. WURTZ. Dictionnaire de Chimie pure et appliquée.  
I. GUARESCHI. Enciclopedia di Chimica.  
    Moniteur Scientifique (t. XII, 1908; t. II, 1912).  
    Revue Generale de Chimie pure et appliquée (t. X, 1907).  
G. LENGE ET J. NARVILLE. La grande industrie chimique (t. I).