

-10458

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Geología de las Minas de
Riotinto

Por David Williams

-10453

GEOLOGIA DE LAS MINAS DE
RIOTINTO.

SIMON KOENRAADS
Idiomas
Marqués de Valdeiglesias nº 6,3º.
Madrid

Teléfono 10534

El Instituto como un conjunto no es responsable de los contenidos de un escrito ó las opiniones expresadas en cualquiera de sus publicaciones.

Puede ser sometido a una revisión. Documentos a ser discutido en una junta del Instituto de Minería y Metalurgia que tendrá lugar en las salas de la Sociedad Geológica, Burlington House Piccadilly W. el Jueves 26 de Abril de 1.934 a las cinco y media de la tarde.

GEOLOGIA DE LAS MINAS DE RIO TINTO EN ESPAÑA.

por David Williams, socio.

Tabla de materias.

	<u>Páginas.</u>
1. Introducción	3
2º. Relación general de la zona piritosa	4
3º. Descripción de la región de Rio Tinto	5
Generalidades	5
Rocas sedimentarias paleozoicas	5
Rocas ígneas ácidas	9
Area de clorita metamorficada	13
Jaspe y corneana (horustone)	14
Rocas ígneas básicas	18
Falla (interrupción de un filón)	19
4º. Depósitos de mena	20
Generalidades	20
Descripción de filones individuales	20
(a) masas de San Dionisio y Eduardo	20
(b) filón sur	22
(c) Planes (nombre propio de un lugar)	23
(d) filón norte	24
(e) filón "Valle"	24
Contenidos metálicos de las menas y la distribución de sus valores	20

	<u>Páginas.</u>
Venas de cuarzo-carbonato próximas a los filones.....	29
Acaballamientos dentro las masas de mena	30
5º. Mineralogía de los yacimientos	31
Sulfuro macizo	31
Sulfuro esparcido	34
Sulfato primitivo que acompaña al sulfuro	35
6º. Oxidación y enriquecimientos	36
Gassanes puros (mineral ferruginoso)	36
Capa de metal precioso en la base del gassan	38
Seudo-gassan ó menas de limanita ó (mena de hierro pan- tanoso)	41
Enriquecimiento secundario	42
7º. Consideraciones generales y génesis de criadero en ma- sa	43
8º. Conclusiones	46
9º. Agradecimientos	48
10º. Referencias	49

1. INTRODUCCION.

No se conocen yacimientos mayores de pirita que aquellos de la provincia de Huelva en España-Sur. Según cálculos hechos en 1926, más de la mitad de las reservas de pirita del Mundo se encuentran en la provincia, las minas de Río Tinto, a ellas mismas contribuyen casi una cuarta parte del suministro potencial. Es imposible asegurar cuándo empezaron las obras de minería en Río Tinto, pero hay absoluta prueba de su explotación intermitente desde hace más de 3.000 años.

Una bibliografía excelente de literatura sobre estos yacimientos de Huelva, publicada antes del año 1.910, existe en la forma de apéndice al relato de Finloyson en "yacimientos de pirita de Huelva, España", mientras se mencionan muchas de las más recientes obras en el resumen del tratado de Gordon William sobre "La Génesis del criadero en masa de la pirita de Perrunal-La Zarna, España", que aparecía en el último volumen de estas "Tratas". Además se han mencionado algunas publicaciones en un apéndice de esta libreta, gran parte de esta voluminosa literatura trata este terreno de pirita como un conjunto, pero entre las últimas relatas, estas de A.M. Bateman y G. Vibert Douglas, tratan más detenidamente los yacimientos de Río Tinto.

El objeto de esta libreta no es tanto para publicar cualquier teoría particular sobre el génesis de los criaderos en masa de la pirita, que de presentar algunas realidades y observaciones que pueden ayudar a la aclaración de muchos problemas implicados en el origen y la situación de estos y semejantes yacimientos. Esta libreta da una descripción de las minas de Río Tinto y sus alrededores cubriendo una área de cerca diez millas cuadradas.

La mayor parte del trabajo sobre el cual se basa esta libreta, fué hecho entre 1.928 y 1.932, durante el tiempo que el autor ha sido empleado como geólogo en la explotación de las minas de Río Tinto. La mayoría de la Geología a cielo abierto y subterránea fué apeada a una escala no inferior de 1:1000 y el mapa adjunto (lámina 1) es una reducción simplificada de los planos de la superficie.

2. RELACION GENERAL DE LA ZONA DE PIRITA.

La geología regional del terreno de pirita, que se extiende desde la provincia de Sevilla hacia el Oeste por una distancia de alrededor 120 millas a través de Huelva y entra en Portugal, ha sido descrita tan a menudo que no se necesita dar aquí más que algunos detalles más salientes.

La mayoría de las minas están situadas entre los pies de las montañas de la Sierra de Aracena que forman el flanco de la Sierra Morena y el terreno se inclina suavemente, con excepción donde la erosión diferencial ha producido elevaciones paralelas de rocas más resistentes, hacia el sur desde las sierras hacia las llanuras de la costa de Huelva y Sevilla. La zona de pirita se encuentra en un ancho cinturón de rocas palaeozoicas, principalmente carboníferas, que separan las gneises pre-cambriano y esquistos de la Sierra Morena de los sedimentos terciarios al sur. A causa de movimientos de tierra hercinianos las rocas más viejas fueron desmigajadas en una serie de pliegas aproximadamente est-est y fueron más tarde sujetadas a una rotura de superficie en una dirección semejante. Antes que los disturbios cesaran los sedimentos palaeozoicos fueron invadidos por granitos, porfiritas y doleritas que principalmente seguían la dirección predominante de la corriente de las roturas de superficie y fueron, ellas mismas, a menudo penetradas con una esquistosidad paralela. Movimientos de torcimientos que seguían causaron una clase de roturas en la roca sedimentaria y rompió el macizo pórfido, las dislocaciones así formadas produjeron los conductos para las soluciones, llevando la mena que subía.

Sin duda alguna lavas contemporáneas y expulsiones piroclásticas se han mezclado al fondo con las sedimentos palaeozoicos de la provincia, pero en la área inmediata de que se trata las rocas ígneas parecen de ser casi enteramente intrusivas.

La mayor parte de la mineralización de pirita es espática (de espato) relacionado con los intrusivos pórfidos la mayoría de los cuerpos de mena yacen al lado ó cerca de los contactos de la pizarra de pórfido. Esta asociación tan cerca de los filones con los pórfidos ha sido mencionada a menudo como evidencia contribuyente de una relación genética entre los dos grupos, aunque algunos escritores recientes sostienen que la ligazón es más bien de una significación estructural que genética. Un largo período de peneplanación causaba la erosión parcial ó completa de algunos depósitos y el descubrimiento de casi todos los filones explotados, aunque muchas masas de mena "ocultas" quedan aun escondidas debajo de una capa de rocas cubridoras.

3. DESCRIPCION DE LA REGION DE RIO TINTO.

Generalidades.- Se ha dibujado la geología de la área alrededor de las minas de Río Tinto en el mapa adjunto (dib. 1, lámina 1) y en las secciones (dib. 2).

(aquí dibujo 2)

(Aquí página 5).

Las intrusiones paralelas de cuarzo pórfido, alineadas en la dirección de la inclinación regional, resaltan como valientes cumbres encima de las eminencias vecinas de pizarra carbonífera, y muchas venas delgadas de pizarra son incorporadas en las rocas ígneas como pendiente de techo sobreviviendo. Al sur de los pórfidos se han interdigitado una serie de intrusiones doleríticas con las pizarras y parecen ser inyectadas a lo largo de las resquebrajaduras de la efusión de las sedimentos pelíticas.

Excepto el pequeño filón de Valle cerca Bella Vista, todas las masas de mena son asociadas con la masa norte del pórfido y yacen, a lo largo de su flanco ó son por completo, encerrados en ella. Una capa roja de mena ferruginosa cubre la más alta cumbre y da al paisaje un aspecto hermoso, atestiguando la oxidación prolongada de algunas masas piríticas desaparecidas hace largo tiempo. Prácticamente, la deposición, en los tiempos miocénicos, de capas de mena de hierro pantanoso en pantanos poco profundos adjuntos a los filones, era la última contribución a la geología sólida de la región. Una desecación rejuvenecida se ha cortado desde entonces profundamente a través estos minerales de hierro sedimentarios, dejando sus restos en extensiones aisladas que cubren varias cumbres de las colinas más bajas y las mejores pruebas dan las capas casi horizontales de Mesa de los Pinos.

Rocas palaeozoicas sedimentarias.- Los sedimentos palaeozoicos en la vecindad de las minas de Río Tinto consisten predominantemente de pizarras bien hendidas. Cabe poca duda que estas pizarras pertenecen todas al período Viséano del sistema carbonífero inferior, porque han producido muchos fósiles, claramente referibles a este horizonte. Los cuerpos siguientes, recogidos de las pizarras entre Marinilla Dam (Presa de Marinilla) y South Lode (filón del Sur), ya han sido clasificadas: *Goniatites aphaericus*, *Posidononcha becheri*, *P. lateralis*, *P. constricta* y otras más. Se han encontrado durante los últimos años en los declives al sur de Atalaya, O'Cast" varias especímenes retorcidas de *Posidononcha becheri* y *P. constricta* (?), juntas con varios nudillos concreccionarios que encerraban fósiles bien conservados. El Sr.

W. S. Bisat ha bien querido identificar una de estas sefabopodas como *Goniatites cresústria*, y le parecía de ser un sub-especimen de este linaje, tan alto como *G. cresústria dinckleyeuse*, ó todavía más alto. El horizonte de este fósil en la zona goniatita es P.1 (algo entre alta P.1a y P.1c) que corresponde a la sección Visean superior del sistema carbonífero inferior. Se han descubierto también en las pizarras de la aldea Dehesa (aquí página 6) especimen de *posidononya* y parece ser muy probable que todos los sedimentos palaeozoicos dibujados en la área son de la época carbonífera inferior.

El lecho y la resquebrajadura de corriente de las series sedimentarias empujan aproximadamente 10° norte del oeste, pero mientras el lecho desliza considerablemente con una inclinación general al norte, la resquebrajadura es invariablemente inclinada en pendiente rápida y se precipita generalmente hacia el norte en 80° alrededor. Las pizarras tienen generalmente un color de gris-azulado oscuro y se transforman con el tiempo en colores abigarrados de marrón ó amarillo, la descoloración de las partes cerca de la superficie son más aparentes en las cercanías de los filones donde la acción de aguas ácidas ha sido lo más fuerte. Se atribuye el color predominante de la pizarra inalterada sobre todo a su contenido carbonoso que toma un término medio de alrededor 0-5% e incrementa en las variedades más oscuras. Los análisis e investigaciones microscópicas dan razón de pensar que el sulfuro de hierro negro, dividido muy fino puede ser una causa contributoria de la coloración oscura, puesto que especimen de pizarra ordinaria sin pirita visible, rara vez carecen cantidades apreciables de azufre (que existe como sulfuro), aménudo más que 1%.

Pizarras púrpuras ó moradas son prominente cerca la extremidad al oeste de la masa de porfirita del Norte y cerca el límite sur de la masa de mena de Atalaya, Opencast (explotación a cielo abierto de Atalaya), ellas afloran también aménudo dentro ó al lado de las porfiritas intrusivas. El color distintivo de estas pizarras es debido principalmente a la hacinatite anthigenea y aménudo es de tendencia estratigrafical, aunque alguna vez es también producido por contacto metamorfoso.

Cerca los yacimientos macizos de sulfuro las pizarras han sido generalmente siricitized siricitizadas ?) por soluciones hidrotermales relacionadas intimamente con la deposición de la mena y en algunos lugares las sedimentos de las paredes de suspensión son intensamente cloritizados. Las pizarras al borde de las masas de mena pueden a veces también ser ligeramente silíceas ó posiblemente revelar vestigio de jaspero y generalmente se caracterizan por la presencia de barita (vea análisis "b" pág. 7). Las aguas ácidas liberadas durante la oxidación de las masas piríticas han sobre-impregnado la alteración más sobre las rocas de la pared, a saber: Esta modificación adicional de las rocas de la pared da en la zona del enriquecimiento secundario y allí

dos ácidos han sido parcialmente encerrados entre cimas de menas sólida, como en la Atalaya Opencast, los pendientes de pizarra que intervienen son especialmente afectadas y blanqueadas.

Se da más en adelante un análisis de las pizarras normales de color gris-azulado oscuro de la Atalaya Opencast, en mismo tiempo que un análisis de pizarra blanca, caolinizada obtenida cerca del contacto de la pared pendiente de la masa de mena de San Dionisio:

(Aqui página 7)

		A		B		C	
Si O ₂	63	12	58	24	70	04	
Al ₂ O ₃	17	39	20	45	13	07	
Fe ₂ O ₃	0	79	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	
Fe O.....	5	01	5	38	2	00	
Mg O.....	1	92	1	84	0	80	
Ca O.....	0	96	0	55			
Na ₂ O.....	2	24	1	74	0	44	
K ₂ O.....	3	29	3	09	2	24	
H ₂ O ⁺	3	08	5	63	3	16	
H ₂ O ⁻	0	35	0	17	0	11	
Ti O ₂	0	78	0	90	1	03	
P ₂ O ₅	0	27	vestigio	0		15	
Mn O.....	0	02	0	06	0	04	
Ba O.....							
C.orgánica.....							
S O ₃							

- A.- Pizarra gris-azulada obscura, masa de mena 100 m. sur de San Dionisio.
- B.- Pizarra gris-azul al borde de una vena de cuarzo-carbonato, Atalaya Opecast.
- C.- Pizarra caolinizada, pared pendiente de la masa de mena de San Dionisio. Análisis, Laboratorio Rio Tinto.

Las pizarras son en algunos lugares algo arenosas y en ciertos horizontes se han desarrollado ciertas intercalaciones de tierra arenosa y cuarcito, aunque nunca tan notablemente en la región de Salvoches-Zalamea hacia el sur. Cuarcitos y tierra arenosa fina existen también en la forma de innumerables pequeños nudillos de un diámetro hasta alrededor de 3 pulgadas, empotradas en una masa de "pizarra-conglomerato" que yace dentro el pórfido al norte de la masa de mena de San Dionisio. Estos nudillos representan guijarras derivadas de la denudación de las rocas pre-existentes y incorporados en la pizarra durante su deposición. Mientras la pizarra envolvente fué muy apretada los guijarras duros resistían, la (aquí página 8) presión de la rotura de superficie y formaban núcleos alrededor de los cuales las laminae pizarrosas se formaban en curvas sinuosas. El contacto entre las "pizarras conglomerato" (vea lámina 1) y el pórfido blanco caolinizado hacia el sur es desigual, mientras hacia el norte los sedimentos son agudamente contenidos por un pórfido muy obstinado y ellos se pierden completamente una profundidad de alrededor, de 100 m. debajo de su comienzo presente.

Mientras la resquebrajadura de las pizarras se precipitan generalmente en declive hacia el nortees notable que en yuxtaposición con las masas de mena, casi invariablemente tiene la tendencia de conformarse con la inclinación de los contactos de la pared pendiente sin considerar su dirección e inclinación. Segun se gana distancia desde el sulfuro macizo, la inclinación de la resquebrajadura pizarrosa toma rápidamente su dirección normal. Esta formación de las pizarras relativamente blandas en conformidad con las paredes pendientes de los yacimientos de pirita, no se ve en ningún sitio mejor que en la proximidad de las cimas de mena en el filón de San Dionisio, se atribuye su causa a la acción de la presión de la mineralización posterior. Una recomposición mejanta de la resquebrajadura ha sido impuesto a las pizarras contiguas con los blancos que se inclinan hacia el sur de trucciones de pórfido.

Por lo menos dos casos de juntas de tensión se ven en las pizarras durante la impresión de la rotura cie, resquebrajadura de corriente

más prominente se inclina en declive hacia el sur oblicuo al lecho y a la resquebrajadura y las entalladuras originales han sido casi todas llenadas con cuarzo y diferentes carbonatos, la significación de las cuales será discutida más en adelante.

Profesor Cullis mencionaba Radiolarian chert (chert radiolarias?) de las regiones de Tharsis y Calañas, pero hasta ahora no han sido reconocidas a Rio Tinto.

Rocas Acid-igneas.- Dos masas principales de pórfido cruzan la propiedad de Rio Tinto, la del norte, en adelante llamada Salomón dyke (vena ó dique de Salomón) que tiene un largo afloramiento de forma oval y sus flancos se aparten en la profundidad, mientras a la superficie la masa del sur llamada Smelter Ridge porphyry (pórfido de Smelter Ridge) actúa como un umbral con sus contactos inclinándose hacia el norte en concordancia con la resquebrajadura de corriente de las pizarras invadidas. La evidencia disponible hace creer que estos dos pórfidos se unan en una profundidad de alrededor de 200 metros. y son efectivamente un retoño de una sola masa parentesca.

No es necesario añadir algo a la descripción petrológica de los pórfidos normales ya publicada por Finlayson, H. F. Collins (aquí página 9) y Andre Demay. El tipo dominante es un cuarzo-pórfido llevando fenocrytes de cuarzo en abundancia y cristales porfidosos subordinados de plagioclasa ácido, colocado en una base de granos finos o felsítica. El biotite, en capas muy raras, es el sólo mineral ferro-magnesian primario. Localmente la masa de tie puede incluir crecimientos interiores micrográficos de cuarzo y feldespato y hacia los bordes de las intrusiones hay ocasionalmente un desarrollo de tipos Keratofiricos. Un "tipo marginal" distintivo de pórfido, caracterizado por la segregación de innumerables feldespatos porfidosos, es notable en muchos lugares cerca los contactos de las masas (vea dib. 1) y sus extremos no son, generalmente, mal definidos. Las pizarras cerca de los pórfidos son a menudo endurecidas y llenas de sericitized felspar porphyreblasts (feldespato quemado de pórfido sericitado) y granillas de epidote secundario, mientras cerca de sus ápices (?) y flancos las rocas acid-igneas a menudo encierran rayas xenolíticas y pedazos de pizarra que han sido imperfectamente asimiladas por la magna que la invade.

En las cercanías de las masas de mena los pórfidos han sido generalmente afectados intensamente por soluciones hidrotermales acompañando la mineralización del sulfuro, los pórfidos del

pié de la pared tienen como característica el desarrollo extenso de Clorita, sericita y algo menos de carbonatos.

El análisis siguiente de pórfidos nuevos y alterados de la cercanía del filón de San Dionisio son mencionados en el libro de Finlayson (pag. 376), el pórfido alterado consistía en su mayor parte de "una agregación de cuarzo, sericite, clorita y carbonatos.

	pórfidos nuevos San Dionisio.	pórfidos alterados San Dionisio.
Si O ₂	76.21	70.68
Al ₂ O ₃	12.66	11.45
Fe ₂ O ₃	2.98	1.31
Fe O	1.45	0.72
Mg O	0.10	0.17
Ca O	1.15	2.28
MgO	1.64	0.65
K ₂ O	3.27	4.65
H ₂ O ₊	0.18	0.23
H ₂ O-.....	0.35	1.41
Mn O	0.08	0.05
Fe S ₂	—	1.27
C O ₂	0.09	5.08
	100.17	100.15

(aquí página 10).

Un ancha zona pórfido mineralizado, en que la pirita es de, mucho, el más abundante sulfuro, forma generalmente el pie de la pared de las masas de mena sólidas. Muchas secciones de este pórfido muestran cristales idiomórficos de pirita rodeados por áreas lenticulares, principalmente compuesto de cuarzo-laminar y carbonatos. La pirita es generalmente envuelta en una franja interior de cuarzo-laminar que crece normalmente hacia su superficie, y éste, en su turno, es frecuentemente rodeado por un borde de calcite con ocasionalmente menudo cantidades de sericite. (Vea dib. 3, lámina 2).

En otros sitios la pirita está envuelta en cuarzo fibroso que está estirado paralelo a la esquistosidad del pórfido de una manera que supone que ha cristalizado bajo la influencia de una fuerza directa (Vea dibujo 4, lámina 2), mientras bajo grande potencia es alguna vez posible descubrir diminutos cristales de rutilo secundario que adhieran a la superficie de la pirita cristalina. Se pretende que estas áreas más o menos en forma de ojo alrededor el núcleo pirítico es principalmente el resultado del ensanchamiento de la lámina de pórfido por la fuerza de la cristalización de la pirita crecida y que los espacios así formados fueron después llenados con cuarzo cristalino y calcite depositados por las soluciones residuales hidrotermales. Mientras algunas franjas de cuarzo, en forma de columna son debidas, sin duda, a causa de los huecos abiertos llenándose alrededor los cristales de pirita, otras con líneas externas irregulares parecen haber sido dilatadas por el reemplazo de la masa de tierra porfídica. A Demay sosteniendo un origen igneo de las masas de mena de sulfuro, decía que la pirita esparcida en el pórfido del pie de la pared debía haber cristalizado antes el cuarzo de la masa de tierra granular y al mismo tiempo aproximadamente que los fenocristos de cuarzo bipiramidal y concluye que la pirita fué pues depositada probablemente en una temperatura entre 800°C y 900°C. Sus argumentos son extensamente fundados, sin embargo, sobre la misinterpretación de la significación de la franja del borde de cuarzo lamellar que rodean la pirita cristalizada, que él, por equivocación, considere de ser contemporáneos con el cuarzo granular de la base, mientras que es claramente de una deposición más tarde. Franjas semejantes de cuarzo laminar son orientadas en la pirita esparcida en las pizarras de la pared pendiente y en

- 12 -

Las pequeñas venas de cuarzo que traspasan la esquistosidad del pórfido y que han sido observadas en otros lugares donde la temperatura de su formación no ha sido posible ser tan elevada como 800° C. La pirita en el pórfido mineralizado no revela ninguna señal de haber sido sujeta a una presión mientras las fenocrysts (phenocrysts) de cuarzo que las acompañan son a menudo granulosos y la ausencia de "ojos" alrededor de los cristales de cuarzo porfidosos tiene también su significación. Es verdad que la pirita muestra alguna vez bordes corrosivos, pero estos son debido casi enteramente a la acción de (aquí página 11) líquidos residuales que permanecen después la mineralización del sulfuro. Se puede fácilmente notar varios casos en que la pirita ha reemplazado el silicato de roca y cuarzo, con un reemplazamiento preferencial de silicatos. La evidencia confirma que los sulfuros fueron introducidos en el pórfido después su solidificación final. La calidad fisil es generalmente más notable hacia el borde de las intrusiones de pórfido. Mucho de éste puede ser comparado al "anto charing" (anto esquileo), y como surgido por Vibent Douglas "es un efecto inyeccional producido por el movimiento de una masa viscosa enfriándose". Es razonable de deducir también que algo de la calidad fisil resulta de presiones laterales que eran aún en operación durante y después, la consolidación de pórfido. Esta misma presión puede ser la causa que la parte, opical de la Salomón dyhe (vena Salomón) se hendió en una serie de lenguas menor separadas por largas y estrechas pendientes de pizarra, las cuales ahora salen de la colina al norte del filón San Monisio (Vea lámina 1). Más tarde, movimientos de torsión bressiated (?) (bressiaba) el pórfido macizo y produjo una red de roturas que en la vecindad de masas de mena han sido principalmente llevados de sulfuros para formar un "Stochwank" (criadero en masa).

No hay crítica aparente para justificar la sujeción que los pórfidos fissiles y salidas representan fases sucesivas y distintas de la misma intrucción general.

Aunque no se han identificado en el terreno rocas extensivas, el autor reconoció una sección delgada de una toba rhyolitie, vitin llevando radiolaria (dibujo 5, lámina III) entre una serie de placas (presuma de un aparato de fotografía) de rocas de Rio Tinto, preparadas por los señores Edge y Oates en 1.920. Ellas explican la sección en su obra como representando un "tipo intermedio entre aparente pizarra y pórfido" de la cercanía del contacto nort. del pórfido de Smelter Ridge inmediata-

mente al oeste de Bella Vista. No obstante repetidos esfuerzos sin éxito para trazar esta ocurrencia de tela vitrea en el terreno, la existencia de tan notable sección es considerada de tan gran valor de ser clasificada como una posible comprobación de la presencia de rocas igneas contemporaneas en la vecindad de Rio Tinto. Se puede añadir, sin embargo, que la posibilidad no pueda ser aún descartada completamente que la toba es un fragmento derivado incorporado en los sedimentos durante su deposición. La toba consiste esencialmente de cascos desvitrificados en forma de arcos (arcuate) en un matriz de polvo fino y su estructura vitrolástica marcada denota un origen piroclástico.

Area clorítica, metamorfosada.- El criadero en masa de pórfido al borde de la mena sólida es a menudo fuertemente cloritizado y al norte del filón San Dionisio va por grados en una área en que la cloritación es frecuentemente tan intensa que las rocas consisten casi enteramente ((aquí página 12)) de clorita y cuarzo, con propagación ocasional de piritas de hierro. Esta área que tiene una longitud de alrededor 2 KM y una anchura de 400 m. está encerrada dentro del pórfido (Vea lámina 1 y dibujo 2 página 4), y sus confines son generalmente bastante bien definidos. Todas las rocas dentro de la "zona metamorfosada son más o menos hendidas y entre los varios tipos presentes los más característicos son una serie de pendientes de pizarra, algunos pórfidos fissiles silicificados, y una roca de granos finos con un contenido clorítico elevado. Las pizarras varían en color desde negras hasta violetas y verdes y pueden ser cloritizadas unas pocas pulgadas desde su contacto (generalmente repentino). Se pueden descubrir algunas veces pequeños xenolitos de pizarra cloritizada dentro los pórfidos fissiles, cuyos fenocristos (phenocrysts) de cuarzo original son generalmente granuladas.

El tipo de roca más notable es una compuesta predominantemente de clorita y cuarzo allotriomórfico, con disseminaciones de pirita y rutilo cristalino y incidentalmente carbonatos de cal y hierro. Como regla general no se puede discernir ningún vestigio de la estructura primitiva de esta roca, pero parece que hay poca duda que representa principalmente un pórfido intensamente metamorfosado, aunque puede ser parcialmente una pizarra reconstituida por completo. La investigación óptica de la roca nueva sugiere que la clorita verde ubicuaria es penminite, y esto se confirma por un análisis químico parcial que prueba que es una variedad de penminite extraordinariamente rica en hierro ferruginoso. El penminite contiene aproximadamente:

$\text{Al}_2\text{O}_3 = 10.0\%$: $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6.5\%$: $\text{FeO} = 23.3\%$: $\text{MgO} = 13.8\%$
 y tiene un $\text{MO}:\text{R}_2\text{O}_3$ razón alrededor 4.q:1. La coloración de la superficie de estas rocas cloríticas es debido a la oxidación de la pirita finamente diseminada y el deshacerse por el tiempo de la clorita en un color marrón-amarillento. Es evidente que la cantidad de minerales ferro-magnesio primario en el pórfido de cuarzo normal es completamente inadecuado para producir la abundancia de clorita contenido en las rocas y su presencia debe ser atribuida a la acción de soluciones hidrotermales que llevan hierro y magnesio. Parece que estas soluciones han depositado antes la pirita diseminada y después clorita, cuarzo, rutilo y carbonato, que la clorita es después de la pirita es revelado por varias secciones que la muestran creciendo hacia el exterior de las superficies de los cristales de sulfuro en una manera análoga a las franjas de cuarzo laminar que rodean la pirita en los pórfidos mineralizados del pie de la pared. Se considera que la cloritización es íntimamente relacionada a la deposición de la mena principal y fue principalmente producido por líquidos que permanecieron después que los sulfuros habían sido precipitados.

(aquí página 13)

Nucleos de agujeros de sondeos que penetraban la área metamorfosada alrededor 300 m. en profundidad indican que los pendientes de pizarra algunas veces persisten hasta tales profundidades con solamente poca disminución en su espesor. La mayor parte del núcleo de dos de estos sondeos consiste de esquiste fuertemente clorítico con diseminaciones esparcidas de pirita de hierro. El tercer agujero de sondeo, hacia el extremo este de la área, pasaba debajo la zona intensamente cloritizada y era sin la menor duda casi enteramente de pórfido, afirmando con esto que las esquistas pasan en algunos lugares hacia abajo dentro de los pórfidos de cuarzo cloritizados.

Jaspe y corneana.- Los afloramientos de jaspe que dan un aspecto tan pintoresco en todas partes de los campos mineros, generalmente ocurren allí o cerca los contactos de pizarra-pórfido. No son tan notables en la vecindad de Río Tinto que en otras partes de la provincia y son en gran número encerradas al extremo oeste del dique (vena) Salomón cerca de la entrada del tu-

- 15 -

nel N° 5 (vea lámina 1), donde ocurren los yacimientos o como capas delgadas encima de las cumbres de pórfido o se precipitan en pendiente rápida o a lo largo de los flancos de pórfido. No cabe duda que los jaspes fueron formados después de la consolidación del pórfido, porque se pueden ver venas de jaspe que transgreden esquistosidad de la roca ígnea. Mucho del jaspe resulta del llenamiento a lo largo de los contactos de pizarra-pórfido, y en lugares su estructura y ocurrencia en el campo implican fuertemente una derivación por el reemplazamiento de pizarra. Verdaderamente la forma del emplazamiento de estos yacimientos de jaspe es en algún respecto análogo al del las masas de mena pirítica. Falta de criterio hace dudoso el parentesco de edad precisa entre los filones de sulfuro y los yacimientos de jaspe al extremo oeste del dique de Salomón. Aunque parece que hay raramente alguna conexión entre los jaspes y las masas piríticas, es insignificante que se encuentren ocasionalmente filetes de jaspe a lo largo de los contactos de pizarra de la pared pendiente del filón de San Dionisio y el del Sur y que se pueden generalmente revelar vestigios de piritización en la mayoría de afloramientos de jaspe. Es posible que el haematite, que es característico de estos jaspes, la pirita fueron depositados casi contemporáneamente de las mismas soluciones, aunque según la literatura, los sulfuros se forman raramente hasta los minerales férricos han cesado de cristalizar. Sr. Branghton Edge (pág. 1229) escribe de un ejemplo de cortar una vena de jaspe a través de una de las masas de mena pirítica en la mina Angostura y sugiere que los jaspes, como un conjunto, pueden ser más recientes que los pórfidos. Se considera que el jaspe es genéticamente parientado al pórfido, y es el producto (aquí página 14) de soluciones hidrotermales; aunque el autor no pudo dogmatizar sobre el parentesco entre los jaspes y las masas de pórfido, él está dispuesto a creer que solamente un intervalo de tiempo muy corto separaba sus respectivos periodos de deposición.

Algunas veces se encuentran pequeños yacimientos de manganesa en asociación muy cerca con los jaspes. La manganesa forma como pirolusite y psilomelane, pequeñas venas irregulares en el jaspe, y tienen la tendencia de concentrar hacia las paredes pendientes de pizarra de los afloramientos de jaspe.

Se dice que durante la explotación a cielo abierto de Martha Lodes (filones del norte) una serie (?) de "chert-lehe (?) bouldas" (presume serie o capas de gruesas piedras como chers) fué encon-

trada encima de la mena. Se encuentra semejante materia "in situ" en la cumbre al sur de la explotación a cielo abierto de Salomón (vea lámina 1), y que ha sido explotada recientemente como flujo silíceo para la fundición. La materia llamada "chert" es realmente una corneana (horustone) blanca o parduzco, que, aunque a menuda sólida, frecuentemente muestra una estructura fue-limpuesta marcada, cuya inclinación y dirección son generalmente conforme a aquellas de las pizarras del país. Sin duda mucha de la corneana representa pizarra que ha sido completamente solidificada por emanaciones que provienen de la cresta de pórfidos subyacentes. Su base es alguna vez determinada por una capa de fragmentos de corneana cimentada con gossan (mena ferruginosa) que puede ser en su vez encima de gossan macizo y pórfidos de cuarzo. (aquí página 15). La corneana ha sido facturada en muchos lugares y después recimentada por filones de cuarzo. Aunque la corneana era sin duda principalmente silicificada antes que la mineralización de sulfuro, algo de su sílica puede haber sido obtenida de los líquidos hidrotermales que acompañan la deposición de la mena. Dibujo 6 muestra el diagrama de la corona de corneana sobre cerro Salomón; Aquí un análisis de la corneana y una vena de jaspe rojo de las pizarras cerca Bella Vista:

	A corneana.	B jaspe.
Si O ₂	93.32	90.30
Al ₂ O ₃	0.66	1.30
Fe ₂ O ₃	3.02	6.00
Fe O	1.58	—
Mg O	0.16	0.10
Ca O	0.40	0.30
Alcali.....	n.d	0.30
H ₂ O	0.68	0.40
Ti O ₂	0.02	n.d
P ₂ O ₅	0.01	n.d
Mn O	vestigio	vestigio
As	0.03	n.d
perdida.....	—	1.30
	99.88	100.00

A.- Corneana del Cerro Salomón. Anal. Rio Tinto. Laboratorio.

B.- Cinta de jaspe de la cercanía de Bella Vista, descrito por J. H. Collins.

"On the geology of the Rio Tinto mines".

- 18 -

Rocas igneas básicas.- Cinturón de rocas doleríticas, interdigitado con pizarra, ocupa la parte sur de la área en consideración. Estas rocas básicas incluyen doleríticas ofíticas esferoidal-resistente y algo fissile albiote-diabases que muestra en general una esquistosidad aumentando hacia los bordes de las intrusiones. En la área indicada en láminas 1, las rocas doleríticas, (aquí página 16) obran como umbrales a lo largo de las hendiduras de las pizarras, pero ocasionalmente ellas cortan a través el lecho y la hendidura de los sedimentos fieltícos. Se pueden ver algunas manifestaciones instructivas de los contactos dolerítica-pizarra en el tunel de Naya, alrededor a 700 m. de la entrada (vea dibujo 7). Allí se encuentran varios fragmentos subangulares de la dolerita esparcidos entre las pizarras en una extensión de 3 a 4 metros de los contactos igneos principales; es posible que estos fragmentos fueran separados de la masa principal como resultado de la presión en operación durante su inyección. El examen microscópico de pequeños trozos tomados de los contactos actuales confirma la impresión que las rocas doleríticas son de carácter intrusivas.

La época exacta de estas intrusiones es incierta, pero como ellas son, por lo general hendidas en la dirección de la tendencia regional ellas pueden muy bien ser inyectadas antes de terminarse el movimiento de tierra hercíniana. En algunos lugares las rocas doleríticas penetran el pórfido de cuarzo de modo que ellas son, alguna vez al menos, claramente de una edad más recientes que las intrusiones de ácido. No hay evidencia palpable que indique el parentesco de tiempo entre las rocas igneas básicas y los yacimientos macizos de sulfuros y es poco seguro dogmatizar del testimonio dado por otros lugares del campo de pirita puesto que muchos así llamados "sheared diabases" (diabases cortadas) en el oeste de la provincia parecen ser lavas contemporáneas, mientras se han mencionado también doleritas de una o edad de post-mineralización. Verdaderamente uno de los problemas sin solución lo más fascinante en la geología de los campos de minas es la correlación de los tipos diferentes de rocas igneas que se encuentran allí.

Ya ha sido publicado por, H.F. Collins una descripción de las rocas doleríticas que son a menudo caracterizadas por breccia-ción y estructura amigdaloidal. El autor, con razón, sugere que las afinidades petrológicas entre ciertos tipos de diabase y pórfido puede ser una implicación de su parentesco cognado.

Falla (interrupción de un filón) - La falla de pre-hendidura no ha sido reconocido con seguridad, las dislocaciones parecen ser de una época de (aquí página 17) post-mineralización. La falla más notable es una que pasa entre las masas San Dionisio y South Lodes y puede ser trazada por varias millas en una dirección aproximadamente magnética-Nor-Sur. Esta dislocación es evidentemente más reciente que la intrusión de las rocas igneas y aunque no se pueda ver que ella rompe el sulfuro afilido se la puede considerar ser de la época de post-mineralización, puesto que afecta la área metamorfosada al norte de los dos filones que fue casi seguramente cloritizada por soluciones que acompañan la deposición de mena. La masa Eduardo, mismo en su plano superior, se termina pocos metros al oeste del plano de la falla y hay una brecha de alrededor 140 m., casi sin mineralización, entre la piritita sólida de las masas de mena de Eduardo y South Lode. Las fallas se inclinan en pendiente rápida hacia el este (pero no hay medidas efectivas de fijar la cantidad de su caimiento hacia el este); su constituyente principal de la traslación era sin duda en una dirección horizontal, con el cual las rocas al oeste de la falla fueron empujadas hacia el norte relativamente a aquellas al lado oeste.

Entre las numerosas fallas más pequeñas que se dirigen aproximadamente nort-sur, algunas dislocaciones menores atraviesan los yacimientos de sulfuro macizo. Donde las roturas cortan las masas de mena, como en La Atalaya Opencast, sus líneas son generalmente marcadas por el desarrollo de una variedad rápidamente-desagregada de pirritas que son causas de molestias de aglomeración porque queman y han sido formadas por la recimentación de piritita intensamente aplastada por sulfatos solubles. Este movimiento ha tenido lugar puesto que la formación de filón es además demostrado por la abundancia de slickensides (flancos alisaduras) maduros dentro de la mena y por las hendiduras que dislocan algunos de los North Lode stockwork (criaderos en masa del filón del norte).

Aunque es posible que habría movimientos de pre-mineralización de un carácter torcedor en la vecindad de las masas de mena, no hay justificación para postular extensas cortaduras y fallas a lo largo de las paredes del filón antes de la introducción de los sulfuros.

4. DEPOSITOS DE MENA.-

Generalidades.- Es posible clasificar los yacimientos según los grupos principales siguientes: a) sulfuro macizo con paredes de pizarra; b) masas de contacto entre pórfido y pizarra, c) criaderos en masa y sulfuro disseminado completamente en pórfido. La clasificación, como ya ha afirmado Vibert Douglas, representa horizontes en un proyecto comprensivo en que "una sección idealizada mostraría un criadero de pórfido pasando hacia arriba en (aquí página 20, páginas 18 y 19 son dibujos) sulfuros macizos al contacto y encima de esta zona, enteramente en pizarra, cuerpos lenticulares de sulfuros".

Casi todas las masas son relacionadas spatially (?) (espática (?)) al dique (vena) de pórfido de Salomón y son o encerradas en él o extendidas a lo largo de sus flancos. Desde el principio de la explotación de las minas más que millones de toneladas de mena han sido obtenido principalmente del filón South (sur) y de los filones llamados Nort Lodes (Lehesa, Lago y Salomón). Durante los años recientes la producción anual normal ha sido más de dos millones de toneladas, y mismo a una razón de tal extracción las minas pueden anticipar con seguridad muchos décadas más de vida.

Mientras que la erosión ha sido sin duda, quitada grandes cantidades de mena, él ha hecho también alguna recompensa trayendo los yacimientos que existen dentro de la influencia del enriquecimiento secundario de sulfuro, por lo cual el carácter cupríco de su parte superior ha sido encarecido considerablemente.

Descripción de los filones individuales.- a) Las masas de San Dionisio y Eduardo. El filón San Dionisio, que es el yacimiento individual lo más extenso en Rio Tinto, tiene una longitud máxima de 1600 metros; en su plano superior está unido con la masa Eduardo que se extiende unos 100 metros más, hacia el este. En algunos lugares la mena maciza se extiende sin interrupción en una anchura de 280 metros, y perforaciones han probado que persisten por lo menos hasta 485 m. debajo de la superficie de pre-apen-cast (explotación anteriormente a cielo abierto). En los dibujos 8 y 9 se muestran secciones típicas y un plan del filón de San Dionisio. La parte superior del yacimiento yace entre paredes de pizarra y pórfido, pero donde se han verificado su base, la mena maciza está por completo encerrada dentro de paredes de pórfido. La naturaleza del fondo de la masa de mena a su extremo al este es, sin embargo aún dudosa debido principalmente a su inclinación pronunciada en esta dirección.

Un criadero en masa (stockwerk) de pórfido impregnado de

- 21 -

sulfuros forma generalmente el pié de la pared norte del filón de San Dionisio, la intensidad de criadero tiene la tendencia de disminuir hacia el oeste (vea dibujo 9, página 19) hasta el extremo oeste del Atalaya Opencast (explotación a cielo abierto de Atalaya), un pórfido blanco, prácticamente estéril descompuesto, forma el fondo de la mena maciza. Es casi siempre posible de determinar con precisión los contactos del pié de la pared del pórfido macizo, especialmente donde el pórfido que forma el límite es hendible, aunque a veces hay una graduación imperceptible desde el sulfuro macizo en el sulfuro determinado. Pequeñas venas del criadero persisten algunas veces dentro del pórfido macizo cloritizado por más de 200 m. hasta el norte del filón y como regla general ellas aumentan en abundancia a medida que se acercan a la mena sólida. A menudo una zona estrecha de pórfido esquistado, pobremente mineralizado, separa el criadero macizo de la masa de mena al sur.

El lecho y la resquebrajadura de la corriente de las pizarras al sur del filón tienen (aquí página 21) una dirección próximamente paralela a la longitud de la masa de mena y mientras que el lecho va rodando considerablemente y en algunos lugares lince oblicuamente contra la pared pendiente del filón, la hendidura se inclina en pendiente rápida hacia el norte. Como se ha mencionado anteriormente, la resquebrajadura en contigüidad con la mena casi invariablemente tienen la tendencia de conformarse con el declive de los contactos de minerales, independiente de su dirección ó inclinación. A lo largo de los bordes del filón las paredes pendientes de pizarra son usualmente mas agudamente definidas que los pies de la pared, pero aunque el contacto entre pizarra y mena es generalmente repentino el sulfuro macizo algunas veces gradúa en pizarra a través una zona que tiene menos que una pulgada de espesor. Las pizarras muestran a menudo vestigios de mineralización durante varios metros desde las paredes pendientes y al observador no acostumbrado, sus exámenes revelan a menudo cantidades sorprendentes de sulfuros metálicos. Algunas veces interviene una tabla de pizarra entre la pirita maciza y los pies de paredes de pórfido normal.

La sericización y la cloritización son más repetidas en los pórfidos que en las pizarras, pero los efectos de la caolinización subsecuente son más manifiestos en los sedimentos que cubren el filón y son especialmente aparentes en las per-

rra que dividan las cimas de la mena maciza.

La mayoría del sulfuro sólido consiste de pirita dura, compacta de un color blanqueco hasta amarillento, según su contenido cúprico. En el filón de San Dionisio el ligamento se ve generalmente nada más que en las cercanías de los acaballamientos de mena, pero la estructura es a menudo muy pronunciada cerca la pendiente de la masa Eduardo menor.

Mucho del ligamiento es acentuado por capas compuestas alternativamente de chalcopyrite (pirita de cobre) predominante y sphalerite. No hay justificación aparente de suponer que estas menas ligamentosas son debidas a la presión de la re-cristalización; al contrario el paralelismo del ligamiento con las rocas de la pared vecina del aspecto de la mena en secciones, pulimentadas sugiere fuertemente que ellas han sido derivadas por el reemplazo de rocas fisiles. Excepto en su ligamiento más frecuente la mena "Eduardo" es distinguible de la mayor parte del sulfuro de San Dionisio y no hay razón de considerarle como "Broken Drag ore" (Mena arrastrada rato) como lo han hecho escritores anteriores.

b) South Lode (filón sur) - La falla de Post-mineralización es principalmente responsable de la rotura de la mena maciza entre la "Eduardo Mas" (masa de Eduardo) y la extrema parte de South Lode (filón sur); En uno de los niveles superiores el South Lode alcanza una longitud, casi sin interrupción, de más de 1350 m. en dirección de la tendencia de la región. La pirita maciza tiene una anchura promedio de alrededor de 35 metros con un espesor máximo de más de 100 metros. El filón se acorta y se encoje generalmente en profundidad, (aquí página 22) y aunque la mena se ha desarrollado de más de 300 metros debajo de la superficie del cielo abierto, su base no se ha podido averiguar. La masa de mena se precipita en pendientes rápidas hacia el sur y es casi enteramente contenida entre paredes de pizarra y pórfido, aunque vestigios de pizarra pueden separar el pórfido de la pared normal del sulfuro macizo. (el dibujo 10, página 23 muestra una sección transversal del filón). Los declives del norte del cielo abierto son predominantemente compuestos de pórfido clorotizado, que es generalmente dividido en ramos por una red de pequeñas venas. El cambio, en algunos lugares, de la mena sólida al pórfido mineralizado es tan gradual que se puede solamente averiguar el límite de la pirita por pruebas, pero el pie de la pared se puede delimitar generalmente con precisión. Una zona de pórfido esquistoso a menudo de un valor considerable, considerado su contenido cúprico, bordea a menudo el sulfuro sólido y puede dividirlo de su

ro macizo de pórfido hacia el norte. Varias pequeñas vías de pizarra se encuentran dentro en pórfido cerca de la masa de mena y parece improbable de ser fortuito que estas inclusiones sedimentarias tendrían la tendencia de parangonar el pie de la pared del filón irregular.

Las pizarras de un color azulado-gris oscuro que forman la pendiente sur del cielo abierto van casi paralelas a la extensión de la masa de mena y su laminar de requiebradura de corriente son normalmente fuertemente inclinadas hacia el norte, contraria a la inclinación prevalente hacia el sur de los flancos del pórfido.

(C) Planes.- Esta masa está situada al extremo oeste de "Salomón Dike" (dique) (vena) de Salomón y está explotada enteramente como un mina subterránea. La masa por su mayor parte, está encerrada de una manera "trunk-like" (como una trompa) entre paredes de pórfido y se extiende desde allí como un pliego a lo largo del contacto de pizarra-pórfido (vea dibujo 11 y 14). La trampa de mena sólida de grado bajo (es decir pobre en contenido de cobre) se estira aproximadamente paralela a la vertiente y dirección de la esquistosidad del pórfido cerca. Hay en muchos lugares desarrollamientos notablemente hermosos de criaderos de pórfido con sulfuros propagadas que gradua imperceptiblemente en la mena maciza, e inspectuando los sulfuros compactos de cerca, es algunas veces posible de discernar los contornos de las pequeñas venas del criadero original. Parece verdaderamente que la mayoría de la mena del grado bajo representa el reemplazo completo de un criadero de pórfido en que la roca de las pequeñas venas interiores ha sido mineralizada enteramente.

Además del sulfuro macizo de grado bajo hay otro tipo distinto de mena en el lugar llamado Planes, de un tenor cúprico muy alto, que se ha desarrollado en la proximidad de los contraos de pizarra. Esta mena cúprica (aquí página 25, página 23 y 24 dibujos) es de grano más fino que la mena de azufre de grado bajo y generalmente se rompe a lo largo de henduras viscosas conforme a los yacimientos de la pared pendiente. Mientras la mena de azufre tiene la semejanza de un pórfido intensamente mineralizado, el sulfuro cúprico macizo tiene una estructura que puede ser heredera de una pizarra reemplazada o ser el resultado de una deposición de mena en una cavidad estrecha a lo largo de la cresta de pórfido. La unión entre las menas de bajo y alto grado es

generalmente muy claro y en algunos lugares vestigios de un pórfido incompletamente reemplazada puede ocurrir a lo largo del contacto actual o dentro de la mena de azufre maciza.

(d) North Lodes (filones del norte) Los tres yacimientos de Lago, Dehesa y Salomón son a menudo llamados colectivamente North-Lodes y pueden por conveniencia ser descritos juntos. Los tres filones son virtualmente encerrados en pórfidos, aunque restos que sobreviven de sus techos originales son aún visibles a lo largo de los superiores de los cielos abiertos.

El sulfuro macizo de los yacimientos Dehesa y Salomón han sido casi completamente explotados, dejando sus raíces de las masas de mena expuestas en sus respectivos Opencast (explotación a cielo abierto).

Estas raíces consisten de una red de pequeñas venas de sulfuro que generalmente atraviesan el pórfido en más de 100 met. debajo de la anterior base, en forma de quilla, de la mena maciza. El pórfido es solamente, ligeramente impregnado, en su profundidad, con sulfuros, pero es dividido en ramas por pequeñas venas de pirita y calcopirita; hacia arriba sin embargo, las pequeñas venas y diseminaciones aumentan en abundancia, hasta eventualmente hay una graduación en mena sólida (vea dibujo 11, página 24). No hay grietas principales aparentes a lo largo de las cuales las soluciones de mena hubiesen podido ser inyectadas y parece más razonable de suponer que la red de grietas del criadero daba los caminos necesarios hacia arriba a los líquidos llevándose sulfuro. Donde las pequeñas venas son principalmente compuestas de calcopirita, el criadero puede constituir una fuente preciosa de mena cúprica, y verdaderamente, una cantidad de tonelaje muy grande de esta clase de mena aún queda en las explotaciones a cielo abierto de Dehesa y Salomón.

Un aspecto notable de las masas de mena de "North Lode" es la forma en quilla, relativamente plana de la base del sulfuro sólido, aquellas del yacimiento de "Lago" aún existen. Se puede aún reconocer en las pendientes de "Lago Opencast" hermosos ejemplos que muestran la transición de pórfido en mena sólida; generalmente, según la mineralización adelante hacia el exterior desde los bordes de las pequeñas venas del criadero hay un aumento en la cantidad de sulfuro diseminado, hasta eventualmente todo el pórfido de las pequeñas venas está reemplazado para producir mena maciza. Hacia el norte de los yacimientos de Lago y

- 25 -

de Dehesa el pórfido llega a ser menos (aquí página 26) mineralizado y acrecentamiento hendible según se acerca al contacto norte del dique (vena) Salomón.

El parentesco geológico de las masas de mena más pequeñas llamado "Mal Año", "Argamosilla" y "Quebrantahuesos", (vea lámina 1) parece a esto "North Lodes" y por eso no merecen una discusión especial. Consiste principalmente de raíces criaderas de yacimientos de sulfuro macizo que han sido desnudadas parcialmente o completamente por erosión.

(e) "Valle Lode". (filón de "Valle"). Este pequeño filón aflora entre las pizarras cerca de "Bella Vista" alrededor de 100 m. al norte de la pendiente del pórfido de "Smelter Ridge". Tiene una longitud de alrededor 230 m. y se inclina en forma de cono de una anchura de 12 metros, desde la casi-superficie. El filón se inclina en pendiente rápida hacia el norte paralelo a la hendidura de la corriente de las pizarras que le rodean y tiene un desarrollo de profundidad de alrededor de 65m. Como no se ha probado aún el fondo del filón no es cierto si sus raíces se encuentran en el pórfido o simplemente se deslizan entre las paredes de pizarra. La hendidura de las pizarras de contacto es casi siempre conforme a las paredes del filón, aunque en ocasiones raras la mena corta a través las pizarras contiguas. (aquí página 27). Es difícil de decidir hasta que extensión las paredes han sido separadas por la fuerza de sulfuro consolidándose y hasta que punto es la cohesión de las pizarras alrededor de la mena debido a la presión de la post-mineralización. Es posible que el filón que ocupa o plano anterior de debilidad en los sedimentos y por analogía, parece razonable de inferir que las soluciones llevando mena ascendían a través del pórfido que está situado debajo del sulfuro probado, a una profundidad no muy grande.

El afloramiento del yacimiento, que es compuesto casi enteramente de sulfuro macizo enriquecido, fué anteriormente marcado por pedazos de gossan (mena ferruginosa) de alrededor de 6 metros de espesor. Ambas paredes de la pizarra del filón son intensamente caolinizadas y son a menudo impregnadas con pirita cristalina de un espesor, de una hasta dos puñgadas desde los contactos de mena.

Contenidos metálicos de las menas y la distribución de valores

La mena maciza contiene generalmente entre 47% y 50% de azu-

fre, pero la cantidad de cobre, plomo, zinc, arsénico, etc. varía considerablemente de un filón a otro y también dentro, de yacimientos individuales. Análisis de menas macizas de bajo y de alto grado, respectivamente de San Dionisio y Planes, son los siguientes:

	Mena grado bajo San Dionisio.	Mena cúprico. Planes.
Azufre	49.05	49.65
hierro	43.49	43.20
cobre	1.01	4.51
plomo	0.97	0.14
zinc	1.08	0.15
arsénico	0.29	0.60
antimonio	0.06	n.d
bismuto	0.015	n.d
cobalto	0.005	n.d
níquel	vestigio	n.d
manganesa	0.01	n.d
fósforo	vestigio	n.d
óxido de aluminio	0.36	0.06
óxido de calcio	vestigio	0.50
óxido de magnesio	0.05	0.11
titanun dióxido	vestigio	n.d
silica	1.20	0.25

	Mena grado bajo San Dionisio	Mena cúprico Planes.
azufre trióxido	0.49	n.d
alcalies	0.10	n.d
agua, etc.	1.82	0.83
	100.00	100.00

El contenido de plata es generalmente menos de 2 onzas por tonelada, y vestigios de oro son casi invariablemente presentes.

Mientras hay sin duda una tendencia para el contenido (aquí página 28) cúprico de la mena maciza de disminuir en profundidad, esta disminución en tenor es casi enteramente debida a la caída de la cantidad de sulfuros secundarios y no aún empobrecimiento en valor primario en cobre. Verdaderamente los niveles inferiores de los filones de San Dionisio y Spath Lodes, frecuentemente contienen más que la cantidad promedio de sulfuro de cobre primario y lo que se trata de estos filones hay poca justificación para la afirmación tan a menudo repetida que el contenido cúprico de su mena primaria muestra una disminución progresiva en profundidad. Hay una tendencia que estos valores más elevados de cobre primario en estos dos filones ocurren hacia los pies de las paredes de pórfido una disposición bien ilustrada en el dibujo 10 y 13. Además a esta tendencia prevalente hacia un aumento en tenor cúprico original en la dirección de los pies de paredes del pórfido, no es de ninguna manera excepcional de encontrar zonas alternativamente más ricas o más pobres cruzando los filones casi en ángulos rectos a las paredes. Como se escribe más adelante no se puede asignar un límite inferior definitivo a la zona del enriquecimiento, pero dentro de sus niveles los más elevados el contenido de cobre del sulfuro sólido excede a menudo tres veces el del contenido promedio de la mena primaria (un hecho no lo suficiente indicado en el dibujo 13).

The segregación de mena de grado bajo y alto es extraordinariamente agudo en la "Planes Mass" (masa de Planes) (dibujo 14),

el rico sulfuro cúprico se presenta como un tipo distinto de mena concentrada cerca la pared pendiente de pizarra, del yacimiento. El tenor elevado de esta mena cúprica es debido principalmente a la abundancia de calcocite y covellite, aunque contiene también más sulfuro de cobre primario (as chalcopyrite) (como(en la forma de) calcopirita) que mena de azufre flaca, que es excepcionalmente pobre en cobre. Se reconocen claramente dos generaciones de pirita en la mena de "Planes"; la primera es largamente limitada a la mena de azufre maciza y es virtualmente desciudado por sulfuros de cobre primario, mientras los granos piríticos más pequeños de la segunda generación se encuentran en las menas de grado bajo y alto y son acompañadas por calcopirita primaria. No es posible dato posible en cuanto a la distribución de cobre primario de las menas extraídas de los yacimientos de "Dehesa" y "Salomón" e irregularidades en el contenido cúprico de la mena en el filón de "Valle" es principalmente una consecuencia de las extravagancias de enriquecimiento secundario.

, Fluctuaciones en el contenido de plomo del sulfuro macizo son generalmente acompañados por un aumento ó una disminución correspondiente en la cantidad de zinc, pero no hay tal concomitancia entre los valores plomo-zinc y aquellos de cobre. La evidencia disponible sugere una disposición algo irregular de los valores del plomo y del zinc en los filones individuales, pero hay data suficiente sobre la cual se pueden fundar conclusiones satisfactorias. Sin embargo, se sabe definitivamente que el plomo y el zinc son comparativamente abundantes (aquí página 31, página 29 y 30 son dibujos) en algunos yacimientos (por ejemplo "South Lodes") y flaco en otras (por ejemplo "Planes") y que la mena de mina en término medio es más rica en zinc que en plomo. El contenido de arsénico en los varios tipos de mena, excede raramente 1% con un contenido flaco probable, alrededor 0.6% y parece que no hay ninguna conexión evidente entre su distribución y la de otros metales.

La tendencia hacia el paralelismo entre el contenido cúprico primario de la mena maciza y la del sulfuro diseminado en el pórfido en el pie de la pared contigua es una característica significativa. Una bóveda transversal con rico contenido de cobre primario es generalmente sostenido por una zona de pórfido mineralizado también rico en calcopirita; verdaderamente la naturaleza de un criadero generalmente nos dá señas seguras sobre el tenor del sulfuro sólido muy cerca. Una de las instancias más extraordinarias de es-

te fenómeno ocurre al lado sur del filón "San Dionisio" donde se ha descubierto un rico "shoot" (filón?) de mena maciza encima de la cresta de una cumbre de pórfido de sub-pizarra (vea dibujo 13 página 29). El carácter cúprico de este "shoot" es debido principalmente a una red de venas de calcopirita agudamente definidas que eran evidentemente llenadas después de la solidificación y la brecciación de la pirita grado bajo que la rodeaba. Se encontraba un criadero calcopirítico en el pórfido que yace debajo de la mina maciza, y parece probable que las soluciones posteriores que llevaban cobre ascendían a través de grietas en ramas en la roca ignea para llenar los fosos abiertos en la pirita brecciada de grado bajo que yacía encima. Se podían citar otros ejemplos ilustrando el paso desde el criadero cúprico dentro de la mina maciza de grado alto y en algunos lugares del "South Lode" hay casos análogos de criaderos de plomozinc soportando mena sólida correspondientemente rica en aquellos metales.

Se considera que la prevalencia de valores de cobre más elevados en el sulfuro macizo hacia los pies de las paredes de pórfido puede ser debido al tenor más cúprico de las soluciones llevando mena que han ascendido después y que subían a través del pórfido. Si las soluciones cúpricas más fugitivas habían sido expulsadas hacia el exterior desde las masas piríticas que se consolidaban, seguramente habría sido también una cierta tendencia hacia un aumento de los valores de cobre primarios en la dirección de las pizarras de la pared pendiente.

Venas de cuarzo-carbonato en la proximidad de los filones.- Un desarrollo notable de venas de cuarzo-carbonato ocurre en las pizarras de los descensos sur de "Atalaya" y "South Lode Opencasts", y en una extensión menor venas semejantes penetran en los sedimentos a lo largo de los filones de "Planes" y de "Valle" estas venas representan el llenar de las hendiduras abiertas que pueden posiblemente haber sido creadas por la misma fuerza de torción que brecciaba el pórfido maciza. (aquí página 32) En la proximidad inmediata a los filones las venas son a menudo nada más que membranas a lo largo de las resquebrajaduras de la corriente laminar de las pizarras, pero más lejos de las masas de mena ellas alcanzan varias pulgadas en anchura y se inclinan en pendiente rápida poderosamente hasta el sur oblicuamente a la inclinación de las resquebrajaduras de la corriente. En los fosos de Atalaya y South Lo-

de la zona de las venas de cuarzo-carbonato se extienden más de 200 metros desde los contactos de la pared pendiente de los yacimientos de pirita. Las venas son compuestas principalmente de cuarzo y uno o más minerales carbonatos, son cantidades sub-ordinadas de clorita y algunos puntos de pirita de hierro, y cobre. Ocasionalmente, es posible que se encuentre una cantidad considerable de baritas. El calcite, que es el carbonato más abundante, lleva generalmente un poco de hierro y de magnesio, y algunas veces vestigios de varium: Amberite no es raro, y se han identificado también a aragonita en algunas venas. Los pórfido contiguos a los filones son atravesados en muchos lugares por venas de cuarzo-carbonato semejantes y se han observado de entre los yacimientos de sulfuro macizo numerosas grietas llenas de calcita.

La formación de venas de cuarzo es muy extensa en las pizarras que están lejos de las masas de pirita y es frecuentemente muy cerca a contactos de pórfido estéril, pero tales venas llevan raramente minerales carbonatos y son raramente caracterizadas por la presencia de clorita o vestigios de sulfuro. Al contrario se pretende que las venas de cuarzo-carbonato descritas anteriormente fueron llenadas por soluciones residuales hidrotermales directamente relacionadas a la mineralización de la mena. El descubrimiento de tales venas en un afea cubierta de pizarra, especialmente cuando acompañada por estructuras torcidas extraordinariamente pronunciadas, daría una justificación de buscar masas de mena escondida. Sin embargo, se debe tener en cuenta que varias condiciones físicas gobiernan la formación de estas venas de cuarzo-carbonato y que su presencia a las superficies fortuito hasta cierto punto, y no un "sinecua non" que acompaña todos los filones escondidos.

En el "Atalaya Opencasts" las venas son lo más abundante al lado sur de la mina, encima de una inclinación de mena prominente y queda una especulación interesante de saber si el fuerte desarrollo de venas de cuarzo-carbonato a lo largo del "South Lode" pertenecen solamente a la masa de mena ya escondida o si está relacionado parcialmente a un masa aún no descubierta escondida debajo de la pizarra en los descensos sur de "Opencast" .

"Horses" (acaballamientos) dentro de las masas de mena.-

Las inclusiones de rocas regional dentro de los yacimientos de sulfuro macizo dan las mejores pruebas hacia la parte este del

- 31 -

filón de San Dionisio. Aquí las fajas de tierra esteril son generalmente alineadas casi paralelas a las rocas de la pared (vea dibujo 9 página 19), y tienen raramente un espesor encima de dos metros (aquí página 33). Una de las fajas de tierra tiene una longitud alrededor de 200 metros y durante toda su extensión vertical de 100 metros por lo menos retiene una anchura entre uno y dos metros con una persistencia notable. En varios niveles de minas consecutivas se pueden designar estas inclusiones como islas rodeadas por menas sólidas y mientras muchas de ellas están sin duda unidas a las paredes en algún punto, otras son probablemente verdaderos "Horses", aunque el hecho de su aislamiento dentro del sulfuro macizo no ha sido aún establecido, por cierto.

Algunos de los "Horses" (resultado) dentro del filón de San Dionisio consiste en fajas de tierra alternativa de pórfido de cuarzo y pizarra cloritizada. Los "Horses" de pórfido son a menudo intensamente silicitados y en muchos lugares son muy cargados con carbonatos y baritas (algunas veces con más de 7% de Ba SO_4). Con la excepción donde ellas han sido caolinizadas por líquidos ácidos, las inclusiones de pizarra son generalmente endurecidas, especialmente donde ellas son interdigitadas con lenguas de pórfido. Aunque los bordes de los "Horses" son generalmente muy agudamente definidos hay algunas veces una transición rápida desde una pizarra casi esteril o pórfido, a través esteriles que aumentan su mineralización dentro de las menas macizas en fajas y finalmente en sulfuro sólido, no en fajas. Esta graduación desde "esteriles" a la mena maciza es seguramente una evidencia incontestable de un reemplazo progresivo de las rocas esteriles.

Se han podido observar varios pequeños "Horses" de pórfido mineralizado dentro de la mena maciza de grado bajo en Planas, donde ellos seguramente tienen la apariencia de inclusiones no reemplazadas y "Horses" semejantes de pórfido también se encuentran cerca de los bordes de la masa de mena de Lago.

5. MINERALOGIA DE LOS YACIMIENTOS.

Sulfuro macizo.- El sulfuro primario es generalmente del grano fino y compacto, con una densidad alrededor de 4.7. La formación en fajas o cinta se ve generalmente en los yacimientos menores tal como "Eduardo Mass" o en las cercanías de los "Horses" y rocas de pared

La pirita es naturalmente el sulfuro lo más común y hay cantidades variables de calcopirita, sphalerita, galena, arsenopirita y numerosos sulfuros raros. Un índice de paragenesis, mostrando el orden de deposición de los sulfuros principales se da a continuación:

Minerales	primario (Hipogene)	Secundario (supergene)
pirita	_____	
arsenopirita	_____	
calcopirita	_____	
sphalerita	_____	
galena	_____	
tetraedrita	_____	
enargita	_____	
luzovita	_____	
baritas		_____
alumita		_____
calcocita		_____
covellita		_____

tiempo _____

Las características notables en la minerografía del sulfuro macizo han sido ya descritas por A.M. Bateman, que clasifica los siguientes minerales de mena primaria añadidas a aquellas en el índice, aquí arriba de paragenesis: famatinita (Cu_3SbS_4), calcostibita ($CuSbS_2$), whitneyita (Cu_9As), umangita (Cu_3Se_2), hancocornita ($MiCo$), ($SbBiS$)₂, Ullmannita ($MiSbS$), y gussas Berthierita ($FeSb_2S_4$).

En algunas menas macizas, especialmente la de "Planes", se pueden conocer claramente dos generaciones de pirita, el grano más pequeño de la segunda a menudo destruye por corrosión los cristales hipidiomórficos, comparativamente grandes, de la primera generación. Muchos cristales de pirita muestran una estructura de zona pronunciada que es acentuada por el grabar de los ácidos. (dibujo 15 A.) Otra característica curiosa de la pirita, que autores anteriores no han comentado, es su estructura que es a menudo concéntrica o llamada "Colloform", que ha sido observada en menas de "Planes", "Valle", South Lode y San Dionisio. Algunas veces la pirita sola muestra una formación en cinta concéntrica, y además manifiesta ocasionalmente una serie de grietas radialmente dispuestas (dispuestas radialmente o con disposición radial). En otros lugares hay posiblemente zonas alternas de pirita, sphalerita y calcopirita (algunas veces sustituidas por covelitas), mientras en la misma sección pulida es generalmente posible de distinguir cristales "Normal" (aquí página 35) sub-idiomórfico de pirita rodeado por calcopirita o bienda de zinc. Aunque esta estructura concéntrica implica evidentemente una precipitación rítmica de los sulfuros, no significa necesariamente su linaje coloidal.

La calcopirita de los primeros tiempos era mena mezclada irregularmente con las piritas macizas, pero el sulfuro de cobre de una época más tarde forma generalmente pequeñas venas encerrando o reemplazando las piritas previamente consolidadas, ocurre como un relleno intersticio de la pirita brecciada. Toda la calcopirita parece ser primaria y aproximadamente contemporánea en edad con el sphalerite. En las menas formadas en cinta el sulfuro primario de cobre y de zinc se separan en filones alternativos y cuando se encuentra galena en la mena en forma de cinta es notablemente libre de estructura genésica que podría ser esperado si la mena hubiese sufrido un esquilteo intenso. No obstante investigaciones continuas no se ha descubierto ninguna bornita, y parece probable que la bornita mencionada anteriormente pueda haber sido empañadura iridescente de la superficie de la pirita y de la calcopirita. El cuarzo, introducido durante la mineralización de la mena, es casi invariablemente presente en el sulfuro macizo

Verdaderamente no es improbable que muchas de las famosas inclusiones de materia de roca en la pirita maciza son realmente puntos de cuarzo depositados durante el periodo de la metalización.

Sulfuro disseminado.- Los pórfidos que flanquean la mena maciza son comunmente impregnado muy fuertes con disseminaciones de sulfuro, el valor económico del cual depende mucho de su tenor cúprico. (aquí página 36) los granos de sulfuros en los pórfidos mineralizados son generalmente más idiomórficos que en la pirita sólida, y las menas disseminadas son a menudo caracterizadas por su textura. Con referencia a los yacimientos de pirita de Huelva, ha sido sostenido a menudo, que hay siempre una demarcación repentina entre la mena sólida y el pórfido vecino, pero en muchos lugares en Rio Tinto solamente un "assay boundary" (borde de verificación) arbitrario separa el sulfuro macizo del esparcido. Esta transición frecuente de la mena sólida a la esparcida es significativa en su implicación de un remplazo progresivo del pórfido del pie de la pared. Sin embargo, se debe resaltar, que los bordes del sulfuro macizo son generalmente bien determinados, especialmente donde el pórfido vecino es notablemente fosil.

Se obtiene la mayor parte de la preciosa mena disseminada del criadero de pórfido macizo con sus pequeñas venas y sulfuros esparcidos. Las venas de pirita son por lo comun mineralógicamente semejantes a la mena sólida contigua y hasta las pequeñas venas de sulfuros las más estrechas, lejos de las masas de mena contienen la misma colección de minerales que la pirita maciza. Pues es claro, la composición de las soluciones que atraviesen las más pequeñas grietas en el pórfido no han podido ser radicalmente diferente de aquellas que produjo la mena maciza. Se encuentra que el tenor de un criadero generalmente sirve como una guía segura al tenor del sulfuro sólido vecino.

Los criaderos de Rio Tinto son prácticamente limitados al pórfido macizo (que es más o menos fuertemente cloritizado) y solamente rara vez se encuentra en pórfidos fósiles a pizarra. Se debe mencionar, sin embargo, que criaderos de sulfuro en la pizarra han sido descritos e ilustrados por Scotti de las minas "Sotiel Coronada" y la "Concepción" (el traductor presume que las minas se refieren a los criaderos y no al señor Scotti). Muchos de los pórfidos fósiles que forman el borde de los filones de Rio Tinto constituyen menas ricas a causa de la naturaleza cúprica de sus sulfuros esparcidos, y cerca de algunos yacimientos hay

menas de pórfido granuladas de las cuales los constituyentes feldespatícos han sido lavados por líquidos ácidos.

Se han extraído pizarras calcocitauas en algunos lugares a lo largo del pié de la pared de "South Lode" pero las pizarras de la pared pendiente son raramente lo suficiente mineralizadas de justificar su explotación. Los cristales de pirita esparcidos en las pizarras de contacto son generalmente idiomórficos en contorno, (aquí página 37) y a menudo ellas son franjeadas por una corteza estrecha de cuarzo laminar que normalmente crece del frente del sulfuro cristalino.

Sulfatos primarios "Hipogeo" que acompaña los sulfuros.— Se encuentran numerosas venas que contienen almita y baritas en el sulfuro moizo y en el pórfido del pié de la pared. Ellas son especialmente notables en ciertos epilamientos al extremo este del filón San Dionisio, aparecen dentro y debajo de la zona efectiva del enriquecimiento secundario.

Se encuentran almita y barita en venas bien formadas de una anchura hasta seis pulgadas, están generalmente acompañadas por calcopirita (con unas membranas de calcocita y covellita), sphalerita, galena y pirita, los minerales de sulfuro tienen la tendencia de separarse hacia los bordes de la vena. Los minerales de mana son expresivamente frescos, excepto cuando hay membranas de sulfuro secundario sobre algunas superficies de la calcopirita. Granos de pellucid y cristales idiomórficos de cuarzo son casi invariablemente embutidos en la alunita del cual se dá un análisis aquí:

Alunita, de la extremidad este del filón de San Dionisio,

aproximadamente 125 metros debajo de la superficie,

Si O ₂	2.19%
Al ₂ O ₃	30.97%
SO ₃	38.37%
K ₂ O	9.52%
Na ₂ O	0.67%
H ₂ O+	12.27%
H ₂ O-	0.13%
	<u>99.18%</u>

- 36 -

dureza = $5\frac{1}{2}$ análisis A.W.Graves (el tanteo pequeño se silicea en el análisis representa probablemente cuarzo no separado).

El almito concuerda muy cerca con la composición teórica del mineral; sin embargo es considerablemente más duro y más porcelanita que la variedad de almito ordinaria.

Baritas es también a menudo abundantes en las pizarras de la pared pendiente y en los "horses" (acaballamientos) de derroche dentro la mena sólida, además ocurre en las pequeñas venas que penetra el sulfuro macizo.

No hay duda que los sulfatos cristalizaban más tarde que los minerales de mena; porque ellos ocupan grietas de breccia en los granos de sulfuro, además los envuelven completamente.

La evidencia sugiere que el almito y baritas son de origen primario y su presencia implica que el período final de la mineralización puede (aquí página 38) haber sido caracterizado, por lo menos parcialmente, por soluciones de sulfato. Ciertas reacciones (posiblemente entre agua y azufre) en la deposición de mena, pueden haber producido, en un período más tarde, ácido sulfurico que atacaba el pórfido y combinaba con alumina para formar alunita además de lavar (beaching out) el barium de las rocas de la región para poder producir baritas.

6. OXIDACION Y ENRIQUECIMIENTO.

Gossans (menas ferruginosas) veritables.- La mayor parte de los yacimientos de sulfuro macizo fueron anteriormente cubiertos de capas de Gossan veritable que en su mayor parte han sido quitadas durante la explotación a cielo abierto de los filones. Otros gossans, como estos que coronan el Cerro Colorado, yacen encima de criaderos flacos o pórfidos muy poco mineralizados y parecen representar las raíces de las masas de mena desaparecidas.

La profundidad del gossan macizo varía alrededor de 10m. hasta 40 m., la espesura promedio es aproximadamente 30 m. Su base es trazada más agudamente cuando cubre el sulfuro macizo que cuando baja en el pórfido gossanizado y es generalmente tan regular que debe ser determinada por un antiguo nivel de agua.

El gossan sólido al lado norte del Cerro Colorado se encuentra sucesivamente encima de zonas estrechas de pórfido lavado, descompuesto al pórfido mineralizado, enriquecido de sulfuros secundarios y carbonatos, que cambian en grados hacia abajo en roca ignea casi esteril. El pórfido, en muchos lugares, ha sido penetrado y fuertemente manchado por soluciones cargadas de hierro filtrando hacia abajo desde gossan que yace arriba. Desde el gossan cubre el sulfuro macizo la parte más arriba de la mena, como ha observado Finlayson, es empobrecida y consiste generalmente de una pirita lavada, porosa, casi destituida de cobre.

Una examinación de las secciones pulidas indica que goethita es el óxido predominante en los gossans veritables, aunque hay turgita y hematite en cantidades diferentes. Un análisis del gossan veritable del lugar llamado "Lago Island" (isla de Lago) entre las explotaciones a cielo abierto de Lago y de Salomón, se dá a continuación al lado de un análisis de mena de hierro de pantano de "Mesa de los Pinos" los cuales van a ser comentados más adelante (aquí página 39) .

	Gossan veritable Lago Island.	Mena de hierro de pantano de Mesa de los Pinos.
Si O ₂	1.00	12.65
Al ₂ O ₃	2.67	1.03
Fe ₂ O ₃	83.24	77.96
Fe O	nulo	0.28
Ca O	0.53	0.74
Mg O	0.25	0.36
Mn O	vestigio	vestigio
cobre	0.18	0.02
plomo	0.55	n.d
arsenio.....	0.69	0.24 *

P ₂ O ₅	0.05	0.21 *
Ti O ₂	vestigio	n.d
azufre.....	0.58	0.20
ácido sulfúrico	como sulfuro n.d	0.27
agua combinada	10.30 pérdida de ignición.	5.90
	<hr/>	<hr/>
	100.04	99.86

* Los contenidos de arsenio y de fósforo en este análisis de Mesa de los Pinos son más elevados que en la serie promedia de mena.

En una gran parte de Cerro Colorado la capa de Gossan veritable, en un espesor de alrededor de 25 m., contiene más que 50% de hierro metálico y tiene un promedio de más de 10 g. de plata y hasta 0.05 g. de oro por tonelada. Parece que la mayor parte del plomo se encuentra como anglesita aunque se han descubierto también cerusitas. Se ha identificado algún arsénico en la forma a un arseniado (seoradite) hydrous ferric (hidro)férrico) y sin duda ocurren en otras combinaciones no reconocidas. Ocasionalmente se puede encontrar baritas en forma de pequeño, pero hermosos cristales, dentro del gossán macizo y el pórfido gossanizado.

Lecho del metal precioso en la base del gossán.- El límite inferior del gossán veritable es generalmente marcado por un lecho algo terroso, de un espesor hasta un metro, llevando valores ricos en oro y plata. El lecho es algunas veces repartido en varias pintas diferentemente coloradas, tales como tierras amarillas, rojas, gris y negras, las posiciones de las cuales

no son siempre constantes. En muchos lugares las cintas gris y negra faltan y los valores de oro-plata son concentrados en las tierras rojas y amarillas.

Este enriquecimiento en los metales preciosos es debido a la concentración de los vestigios de oro y plata que eran originalmente presentes en los yacimientos de sulfuros. Puesto que el sulfato ferruginoso se forma constantemente a la superficie de la pirita que se oxida, los vestigios de oro y plata en el sulfuro se quedan atrás y llegan a ser incorporados en la base del gossán. Eventualmente, como la zona de la oscilación baja gradualmente se supone que estos residuos en el gossán son largamente disueltos en sulfato ferruginoso en la presencia de un cloruro y son llevados hacia abajo hasta ellos son precipitados (aquí página 40) encima de los filones por la acción reducida del sulfato ferruginoso y los sulfuros metálicos. El rebajamiento aún más de la zona oxidada causa una resolución parcial y una re-precipitación de los metales preciosos, que son de este modo mantenidas concentrada lo más ricamente a la base del gossán que se hunde.

Aunque el lecho de metal precioso comunmente se estira encima de una zona estrecha de pirita lavada encima del sulfuro mudo, se encuentra en otros lugares extensivamente encima de un pórfido descompuesto, blanco y casi estéril. Ocasionalmente se distinguen los bordes inferiores del gossán por un lecho de azufre nativo, cuyo origen ha sido discutido anteriormente por A.I. Simón.

La base del gossán, además de ser característica por una notable concentración de oro y plata, es también señalada por enriquecimiento de plomo, antimonio, bismuto y selenio y por un empobrecimiento de cobre y de zinc, como muestra el siguiente análisis escogido, fundado sobre una preparación de muestra sistemática hecho por Vibert-Douglas y el difunto F. W. Tinnis:

Lecho de oro y plata, que yace encima el sulfuro de Salomón Opencasts.

		gossan	tierra negra.	tierra amarilla.	tierra gris.
		%	%	%	%
gossan	cobre	0.11	0.13	0.08	0.03
	hierro	50.63	2.57	23.42	0.82
	plomo	2.43	1.19	4.17	0.57
tierra negra.	zinc	vestigio	vestigio	vestigio	vestigio.
	arsénico	00.97	0.01	0.75	0.03
	azufre	0.13	1.25	0.78	0.34
	azufre trióxido..	2.88	1.57	18.03	0.48
	antimonio	1.97	2.92	1.95	0.76
tierra amarilla	selenium	0.008	0.006	0.020	0.002
	teluro	—	—	—	—
	cobalto	—	—	—	—
	bismuto	0.020	0.032	0.038	0.060
tierra gris.	oro, onzas/tonelada	0.17	1.09	0.76	0.21
	plata, onzas/tonelada.....	2.68	83.43	50.69	25.48

(aqui página 41)*

- 41 -

Descubrimientos recientes de tierras rojas y amarillas yacen en pórfido casi estéril en el lado sur del "Salomón Opencast" han producido más de 1 oz. de oro por tonelada y valores muy elevados de plata, en un espesor de casi 1 metro. Estas tierras rojas y amarillas contienen también baritas en abundancia.

Se considera que el oro está presente como metal nativo, aunque debe ser dividido finisimamente, puesto que hasta ahora, ha producido solamente una o dos mancho cuando lavado. Se ha identificado la plata como cloruro, cerargyrita y ocurre probablemente también en la forma de un sulfuro.

"Pseudo-gossán (gossán falso) a Menas de Hierro de pantano.- Varios autores han dado descripciones de menas de hierro sedimentarias que forman cubiertos de crestas aislados alrededor de Rio Tinto y la opinión es unánime que ellos representan lechos de hierro pantanoso precipitados en lagos pantanosos de los rios que riegan los filones de pirita vecinos. Es evidente que estas menas de hierro no se han podido formar "in situ" porque les faltan las raíces de sulfuro y yacen con una discordancia flagrante sobre las pizarras palaeozoicas y el pórfido. Además su estratificación distinta y su contenido de restos de plantas miocenas atestiguan adecuadamente un origen sedimentario.

Sin duda, como la mena de hierro se acumulaba, las partes más elevadas del dique (filón) "Salomón" se elevaba encima el *panplain* (?) alrededor y forma las masas de mena de su flanco, que se oxidan, líquidos ferruginosos derramaban en los pantanos vecinos para precipitar su carga de hierro y detritus de roca. La denudación, desde entonces, ha quitado mucho de los extensivos yacimientos anteriores de hierro pantanoso, solamente los restos que quedan, cubren como capas algunas de las cuevas más bajas. El más extenso de estos restos sobre las crestas es el de la "Mesa de los Pinos" (lámina 1), que tiene una longitud de 1.600 metros y una anchura promedio de 150 metros y un espesor de 6 m.. Los lechos son casi horizontales y consisten en su mayor parte de fragmentos angulares o a veces redondas de pizarra ferruginosa, pórfido, cuarzo y gossán veritable, cimentado por óxido de hierro. El grabar sobre la superficie con cloruro stannous (stanífero?) indica claramente que los óxidos que hacen la cimentación incluyen goethita y hematite.

Una porción muy grande de las menas de hierro sedimentarias es vendible a causa de su contenido elevado de hierro metálico y comparativamente pobre de arsénico (vea análisis página 39). Puede ser interesante notar que yacimientos algo anólo-

gos de mena de hierro se forman hoy día (aquí página 42) en los Valles del Río Tinto y del Río Tintillo y son ahora precipitados desde los líquidos ferruginosos en la presa de Marismilla.

Enriquecimiento secundario.- Se puede raramente diferenciar claramente la zona de enriquecimiento, o supergene del sulfuro primario que yace debajo, porque hay generalmente una transición imperceptible desde la mena enriquecida a la mena primaria. El enriquecimiento es lo más notable en la parte superior de las masas de mena y en la vecindad de sus paredes de pie y pendientes muestran una tendencia prevalente de disminuir según la profundidad aumenta. La concentración de sulfuros de cobre secundarios dentro la "Planes Mass", es, sin embargo, marcado excepcionalmente y hay un paso relativamente repentino desde la mena viscosa de grado-alto, rica en calcocita y covellita a la mena maciza de grado-bajo notablemente deficiente en sulfuros supergene (vea dibujo 11).

La calcocita y covellita parecen ser los solos sulfuros secundarios llevando cobre, los cúpricos son más abundantes que los sulfuros cobrizos. Ambos sulfuros reemplazan calcopirita, sphaerita y galena en preferencia a pirita. Aunque se ha revelado calcopirita a una profundidad superior a 300 metros, es raro de encontrar sulfuros secundarios más profundos de 150 metros, debajo de la capa formando cubierto de gossán. No se ha reconocido bornita y se considera que toda la calcopirita es de origen primario. También los pórfidos fósiles como los macizos del pie de la pared pueden ser lo suficientemente enriquecidos para constituir menas diseminadas (?) apreciables y dentro de la zona oxidada ellas son ocasionalmente impregnadas con malaquita y azurita.

Que el enriquecimiento no ha sido más extenso en Río Tinto es probablemente debido sobre todo al hecho, como lo explica Bateman, "que en la última parte del período peneplain la capa de agua no era profunda e impidió una oxidación honda". Sin duda, la acción de reducción rápida del sulfuro macizo ha tenido un efecto inhibitorio sobre el enriquecimiento, impidiendo una oxidación profunda, y es también responsable, en gran parte, de la escasez sorprendente de minerales de cobre oxidados, tales como cuprita, malaquita y azurita. Los carbonatos de cobre, cuando se presentan, son generalmente encontrados dentro del pórfido del pie de la pared, donde la acción de reducción es mena fuerte que en la mena sólida. El cobre nativo es casi una curiosidad mineralógica. Se le encuentra a menudo sobre la madera (más sobre el roble que sobre el pino) en galerías antiguas, en planes y otros lugares, donde ha sido formado por la reducción del sulfato y por

la decadencia de sustancias orgánicas.

Se conocen numerosos sulfatos cristalizados, incluyendo chalcantita, brochantita, staladitas de melanterita y agujas de halotrichita. Gran parte de la mena compacta, y especialmente de los niveles superiores, (aquí página 43) está cubierta superficialmente y a lo largo de las coyunturas por sulfatos de cobre básico. Columnas subterráneas de sulfuro macizo que han sido expuestas durante más de 20 años por la explotación de la mina, han perdido generalmente más de la mitad de su contenido de cobre en una profundidad de alrededor de 6 pulgadas desde la superficie de las columnas, hasta profundidades superiores a 160 metros, debajo de la superficie la mena lleva a menudo más de el 5% de cobre en forma soluble H_2SO_4 . Parte de este sulfato de cobre soluble está ahora reducido de formar calcocita y covelita en profundidad mucho más abajo de la zona "efectiva" del enriquecimiento secundario.

7. CONSIDERACIONES GENERALES Y GENESIS DE LAS MASAS DE MENA.

Los pórfidos que son tan repartidos a través del terreno minero de Huelva presentan muchas de las características objetivas asociadas con stocks (presume criaderos) batholithicos. Están situados en un cinturón orogénico y se alargan en la dirección de la tendencia regional, además muestran a menudo techos domical (en forma de domo) irregulares, paredes inclinadas en declive y cortaduras transversales de la roca del terreno, mientras vestigios de sus techos sedimentarios originales se han conservado en forma de pendientes de techos degados. Los pórfidos, en algunos lugares, se extienden como diques transgresando la estructura de los sedimentos invadidos y en otros lugares aparecen en la superficie como umbrales cuyos contactos son paralelos con las resquebrajaduras de la corriente de las pizarras contiguas. Como los pórfidos fueron colocados y que yacen debajo de ellos son aún asuntos de especulaciones contraversales. El reemplazo posible de las rocas-techo en "profundidad" puede haber empeñado un papel más grande en su emplazo, aunque en sus niveles superiores los pórfidos muestran aspectos que se atribuyen generalmente a una inyección rápida.

Como resumen de las muchas teorías diversas que se han

hecho, el lector debe referirse a los escritos de A.M. Bateman y Gordon Williams. La opinión predominante parece ser dividida ahora entre dos hipótesis, una sostiene que las masas de mena han resultado de inyecciones de hidro-pirita magna y otros declaran su origen de un reemplazo, hidrotermal. El Señor Gordon Williams ha intentado de reconciliar estas dos opiniones sugiriendo la naturaleza secuencial de llenar hendiduras por inyecciones y el reemplazo de rocas-regionales por soluciones hidrotermales empobrecidas. En el Congreso Geológico Internacional reciente en Washington, Arnold Heim admitió la eficacia de procedimientos metasomáticos a lo largo de ciertos contactos, pero sostuvo que las masas de mena (aquí página 44) fueran inyectadas en las rocas paleozoicas después de los movimientos hercinian tectogénéticos. Al contrario, Fritz Belviend reivindicaba que una magna pirítica es, por motivos físicos, inconcebible y descartaba la posibilidad de un "grupo de sulfuro intrusivo" en el sentido de Y.H.L. Vogt.

Los yacimientos principales de Rio Tinto se encuentran a lo largo o cerca del flanco de un dique apically-truncated (truncado opicalmente) y, por lo que se sabe, todos los filones de sulfuro macizos son acompañados por criaderos en el pórfido vecino. Se pretende que el locus de la deposición de mena fué controlado por condiciones estructurales y que el carácter químico de las rocas de la pared tenía poco efecto en la determinación del sitio de las masas de mena. Posiciones estructurales favorables para la deposición de mena parecen ser de allí, donde la roca ignea corta a través la resquebrajadura de la corriente de los sedimentos invadidos, como a lo largo de la vertiente sur del dique Salomón y a lo largo de las crestas y artesas de las alturas de pórfido. Posiblemente se iniciaban "pressure slabs" (afloramientos de presión) en estos lugares por movimientos diferenciales a lo largo de los contactos de pórfido y fué hacia estas zonas de presión disminuida que las soluciones móviles llevando mena ascendían a través de una red de hendiduras de brecciación en el pórfido macizo para precipitar su contenido metálico en condiciones fisico-químicas favorables. Sin duda movimientos de torsión eran responsables en gran parte de dar el camino del cauce para las soluciones que mineralicen y las zonas favorables para la precipitación del sulfuro, aunque éste puede haber sido preparado parcialmente por movimientos diferenciales a lo largo de los bordes del pórfido durante su consolidación.

Juzgando por la similitud de conjuntos de mineral en los sulfuros macizos y los diseminados parece poco probable que la solución que depositaba los dos tipos de mena pueden haber sido ra-

dicalmente diferentes, y puesto que los fluidos metalizando atraviesan hasta las grietas más pequeñas en el pórfido ellos deben haber sido de una condición muy fina. Hay mucha evidencia incontrovertible en favor de reemplazo extenso de las rocas por soluciones hidrotermales y la extensión de tal metasomatismo entra en la cuestión. Nadie que ha estudiado la transición frecuente desde sulfuros disseminados a los macizos puede dudar de la validez del reemplazo y aunque la evidencia de mineralización progresiva del pórfido es más notable que el reemplazo de pizarra, cantidades de especimen pueden también ser recogidas que muestran el paso gradual desde la pizarra inalterada a través de mena congregada en mena sólida no congregada. Se debe admitir, sin embargo, que el paso (aquí página 45) del sulfuro macizo en las rocas de la pared es generalmente algo desigual, especialmente cuando las paredes del filón son compuestas de pizarra o pórfido fisile. En tales casos los contactos relativamente agudos pueden ser debidos a la insusceptibilidad comparativa de las rocas fósiles al reemplazo efectivo en direcciones normales a sus planes de hendidura. Se pueden esperar bahías y efectos graduacionales en el pórfido más macizo porque el metasomatismo puede proceder allí irregularmente y no está tan cerca relacionado a una frente determinada como en las pizarras y pórfidos fósiles normales a sus hendiduras. Pero donde las soluciones de mena han subido a lo largo de las hendiduras pizarrosas, entonces grandes encerramientos en bahías y largas pendientes de pizarra cuelgan generalmente en el sulfuro macizo.

Muchos partidarios de la teoría de reemplazo han invocado la ayuda de zonas de aplastecimientos cerca de los flancos de pórfido y otros insisten en la presencia de colocaciones defectuosas de pre-mineralización y esquilan zonas a lo largo de los contactos para sostener sus hipótesis. El autor admite que es posible que se encontraran algunas pulverizaciones a lo largo de los contactos, especialmente donde el pórfido macizo terminaba contra los extremos de la hendidura pizarrosa y puede aceptar la existencia de disturbios de pre-mineralización (es decir tensión gashes) (entalladuras de tensión) a lo largo de los bordes del pórfido, pero considera inútil solicitar la ayuda de zona de aplastecimientos extensivos para efectuar reemplazados.

Se admite generalmente que el reemplazo de pórfido por soluciones de oro hidrotermal es incontestable, pero parece que hay oposición de reconocer que pizarra puede también ser reemplazada por fluidos piríticos. Las composiciones químicas de la pizarra

y del pórfido son algo semejantes y es dudoso si el conjunto de mineral de la pizarra es más obstinado al reemplazo que el del pórfido. Puesto que las pizarras pueden ser silicificadas completamente sin necesariamente heredar una estructura pizarrosa palimpsesta y puede ser cloritizada enteramente por soluciones hidrotermales, porque se renunciaría la eficacia de piritización completa. Aunque el formarse en cintas de la mena puede, a menudo, ser adelantado (?) en sustantación (?) (substanciación) de procedimientos metasomáticos, su ausencia en el sulfuro macizo no excluye un origen de reemplazo.

La intensa siritización y cloritización de las rocas de la pared, la ausencia de minerales de una temperatura-alta típica, la presencia de sílice libre y sulfatos primarios y la existencia de sulfuros característicamente asociados con soluciones acuosas, todo esto supone que una acción hidrotermal ha debido desempeñar un papel importante en la formación de masas de mena. Mientras se pretende que el reemplazo hidrotermal era probablemente el factor dominante en la creación de los yacimientos de Rio Tinto, sería fútil de negar, con nuestros (aquí página 46) conocimientos actuales en las condiciones físico-químicas de las soluciones piriticas que los fluidos mineralizados, iniciales, pueden haber sido otros que hidrotermal. Como el reemplazo de la roca de la región fué efectuado es mucho menos claro que el hecho mismo y por el momento debe ser lo suficiente, apoyarse sobre los hechos más objetivos.

Se considera que los sulfuros fueron depositados de soluciones relacionadas genéticamente a los pórfidos fueron derivados de la misma magna primaria que las rocas intrusivas. H.F. Collins se esforzaba de mostrar que las pizarras por todos lugares en la cante de mineral de la provincia de Huelva, sea comparativamente cerca o lejos de las masas de mena, siempre contienen cobre, pirita y metales del grupo zinc-níquel. ¿ Si estos metales son sigenéticos, es posible que yacimientos de sulfuro han tenido un origen resurgente posterior a la asimilación de grandes extensiones de sedimentos por magnas invasoras? La contestación a esta pregunta debe implicar un descenso del nivel de hechos observados a este de especulación pura.

8. CONCLUSIONES.

1º. Las rocas sedimentarias en la vecindad de la mina de Rio Tinto pertenecen al periodo Viscén del sistema carbonífero inferior y eran implicadas en los movimientos de tierra Herciniana

que imprimía en ellas una hendidura de corriente de inclinación en pendiente rápida. Hay una posibilidad que eyecta (?) (eyecta, eyección) piroclástica contemporánea rara puede ser inter-estratificada con los sedimentos.

2°. Una serie de pórfidos y rocas doleríticas invadirán los sedimentos ante la cesación de los disturbios y generalmente seguirán la tendencia este-oeste predominante de la hendidura de la corriente. Algunas de las rocas doleríticas en los alrededores de Rio Tinto parecen ser de una edad más reciente que los pórfidos.

3°. Movimientos de torsión brecciaban el pórfido macizo e introducirán probablemente movimientos diferenciales a lo largo de algunas partes de los contactos del pizarra-pórfido.

4°. Soluciones finas llevando mena subían a lo largo de una red de caminos de cauce en el pórfido hacia zonas propicias de "pressure-slacks" (disminución de presión) a lo largo de los contactos donde ellas depositaban sus contenidos metálicos bajo condiciones fisico-químicas favorables.

5°. Las masas de mena están emparentadas a un dique (filón) de pórfido opicalmente truncado y yacen a lo largo o cerca su flanco y cresta.

6°. Posiciones favorables para la deposición de mena parecen ser de allí, donde el pórfido transgrese la hendidura de la corriente de los sedimentos alrededor, como a lo largo de los declivios sur del dique Salomón y a lo largo de las crestas y huecos en el apex de pórfido.

7°. Se pretende que el reemplazo hidrotermal desempeñaba un papel dominante en la formación de yacimientos de pirita, aunque es realmente inútil negar que las soluciones de mineralización iniciales pueden haber sido otras que hidrotermal.

8°. La transacción de sulfuro diseminado al macizo, la intensa sericitización y cloritización de las rocas de la pared, la ausencia de minerales de alta temperatura típicas, la presencia de sílice libre y sulfatos primarios, y la existencia de sulfuros característicamente asociados con soluciones aqueas todas implican una acción hidrotermal extensa.

9°. Respecto a los filones principales hay poca justificación de sostener que el tenor cúprico de su mena primaria muestra

una depreciación progresiva en profundidad.

10°. Hay una escasez de minerales de cobre oxidado y el enriquecimiento es debido casi entero al reemplazo de sulfuros hipogénos por calcocita y covellita.

11°. Los gossans veritables consisten predominantemente de hidróxidos férricos y sus límites inferiores son comunmente marcados por una concentración de oro, plata y otros metales. Las menas pantanosas de hierro son del tiempo mioceno y fueron precipitadas en pantanos vecinos de los filones de sulfuro; un desecamiento rejuvenecido desde entonces ha cortado profundamente a través estos minerales de hierro dejando sus residuos como capas de montaña aisladas.

9. AGRADECIMIENTOS.

El autor debe su gratitud, en primer lugar a los señores Directores de la Compañía de Rio Tinto al permitir la publicidad de este librito; es muy agradecido al señor G.W.Gray por su ayuda preciosa y el interés simpático mostrado siempre durante el progreso de esta obra. Expresa su apreciación a los empleados de Rio Tinto por su ayuda y amistad de compañeros; al Profesor G.Wibert Douglas, anteriormente Jefe Geológico de las Minas, el autor es especialmente agradecido del estímulo de su entusiasmo e ideas fértiles, también da gracias al Sr. Dou l. Raso de Luna, por el intercambio libre de opiniones sobre asuntos mineralógicos.

El autor debe gratitud por las ayudas facilitando el complemento de la obra en la sección de geología de la Escuela Real de Minas de Loudres, el autor está agradecido al Profesor P.G.H. Boswell, también reconoce con gratitud las muchas sugerencias pertinentes ofrecidas por el Profesor C.G.Cullis durante la preparación del manuscrito y finalmente da las gracias al señor G.S. Swetling por su falomicrografía habil.
