

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Minería

EL FIERRO Y EL OPEN PIT

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE

Ingeniero de Minas

Raúl Rizo Patrón Buccicardi

Promoción Víctor Núñez T. 1965

LIMA - PERU

1965

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer profundamente al Ingeniero Fernando Noriega Calmet, quién fué la persona que me supo guiar en los momentos más difíciles al inicio de mi carrera.

Así mismo al Doctor George Petersen G. quien en todo momento colaboró conmigo para sacar adelante el presente trabajo.

Quiero expresar en igual forma mi gratitud a todos quienes fueron mis profesores por las enseñanzas recibidas.

Finalmente al personal técnico y administrativo de las Compañías Mineras en las que realicé mis prácticas vacacionales, el que siempre me brindó su apoyo y colaboración para el mejor aprovechamiento de las mismas.

PROLOGO

Al dar término a mi Tesis de Grado titulada "El Fierro y el Open Pit", me lleno de satisfacción al haber podido desarrollar los diferentes capítulos que me había propuesto. Deseo expresar que por ser el tema tan amplio no he podido entrar en detalles conforme era mi propósito.

En el capítulo de geología existen términos en Portugués, que no tienen traducción literal al Español, siendo éste el motivo de su figuración.

Espero que éste trabajo pueda servir de consulta para las futuras promociones , ya que ha sido uno de mis propósitos al realizarlo.

INDICE DE MATERIAS

	<u>Pag.</u>	
Prólogo		
Agradecimiento		
Extracto	I	
CAPITULO I		
<u>GENERALIDADES</u>		
Introducción.		1
El Fierro en el Perú - Distribución geográfica.		4
Génesis de los depósitos.		13
Minería Subterránea v.s. Minería Open Pit.		15
CAPITULO II		
<u>EL FIERRO EN EL MERCADO MUNDIAL</u>		
Expansión de las Reservas Mundiales.		17
Revolución Tecnológica - Pellets.		18
Reservas Mundiales en Varias Epocas.		18
Previsión de demanda en 1972-1975.		19
Previsión de comercio en 1972-1975.		21
Estimación del Mercado para América Latina en 1972-1975.		21
Las 25 mayores empresas del Mundo Libre - producción.		22
Plantas de Pellets - Panorama Mundial.		23
Características actuales del Comercio Internacional.		25
CAPITULO III		
<u>MINERIA OPEN PIT</u>		
Historia.		26
Exploración.		27
Reservas de Mineral.		29
Procedimiento General.		30
Aplicación de Mecánica de Suelos.		33
Altura Crítica de una Vertiente.		35

Angulo necesario de Inclinación.	37
Profundidad Máxima del Pit.	41
Perforación.	44
Voladura.	50
Seguridad.	58

CAPITULO IV

ASPECTOS TECNICOS Y ECONOMICOS DEL TRANSPORTE DE FINOS DE MINERAL DE FIERRO POR MINERODUCTO

Introducción.	63
Descripción del proceso.	63
Algunas aplicaciones.	64
Transporte de mineral de Fierro.	65
Ventajas del Mineroducto.	66
Implicaciones en la construcción de un mineroducto.	67
Principales resultados de estudios técnicos.	68
Estimación de orden económico.	69
Mezclas homogéneas y heterogéneas.	70
Desgaste de la tubería.	73
Angulo de mineral decantado.	75
Velocidad de transporte - Problemas de taponamiento.	75
	77

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO DEL TRANSPORTE POR GRAVEDAD Y POR BOMBEAMIENTO DE LOS FINOS DE MINERAL DE FIERRO DEL CUADRILATERO FERRO-FERO - BRASIL

Consideraciones Generales.	79
Transporte por Gravedad.	79
Transporte por Bombeamiento.	80

CAPITULO VI

GEOLOGIA GENERAL DE MARCONA

Clima y Vegetación.	84
---------------------	----

	Pag.
Fisiografía y geomorfología.	85
Geología regional.	86
Geología histórica.	89
 CAPITULO VII	
<u>GEOLOGIA GENERAL DEL CUADRILATERO FERRI- FERO - BRASIL</u>	
Generalidades.	92
Estratigrafía.	92
Tipos de Rocas.	97
Evolución Estructural.	99
Metamorfismo.	100
Origen y Naturaleza de los yacimientos ferríferos.	103
Teoría sobre el origen de los sedimentos ferríferos.	106
 CAPITULO VIII	
<u>EXPLOTACION Y BENEFICIO DE MINERAL DE FIERRO</u>	
<u>Perú:</u> Marcona.	110
<u>Brasil:</u> Casa de Pedra.	113
Morro Agudo.	118
Mannesmann.	121
Vale Do Rio Doce.	124
 CAPITULO IX	
<u>CONCLUSIONES</u>	128
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	152

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

EXTRACTO

Los recursos de fierro en el país estan distribuidos en dos grandes fajas ó provincias metalogenéticas, la faja costera acumulando 85% de las reservas y la faja de los Andes Meridionales.

En 1957 comienza a ocurrir dramática alteración en el panorama del mercado mundial de fierro. En lugar de escasez de mineral debido al alza de precios después de la guerra, se transforma en un exceso de mineral en el mercado. El crecimiento medio anual entre las dos guerras hasta 1939 había sido de 3.5%. En el período de 1945 á 1957 éste crecimiento llegó al 8%. Entre 1950 y 1962 se refleja un incremento de las reservas mundiales de 150 mil millones de toneladas, aumentando la producción de 242 á 513 millones.

A fines de la Segunda Guerra mundial, las siderúrgicas intensificaron la utilización de finos de mineral, el que mezclado con finos de coke y fundentes daba un producto denominado sinter, usable en los altos hornos. Es Rusia quien en 1958 contaba ya con una producción de sinter de 50 millones de toneladas por año, secundado por Estados Unidos con 35 millones. Acto seguido se tuvo la revolución tecnológica de los pellets, los cuales son obtenidos por el rodamiento en tambores ó discos especiales, de óxidos de fierro finamente molidos y humedecidos en mezcla con ciertas arcillas que actúan como aglomerantes. Este producto con alto tenor en fierro y libre de impurezas es un material ideal para emplearlo en los altos hornos, ya que mantiene la circulación de aire y gases en el interior del horno, permitiendo perfecto equilibrio y continuidad en la operación.

Con el fin de combatir la tendencia al aumento en los costos, la minería ha recurrido a la investigación y mecanización de métodos de trabajo, para poder mantener la demanda en el mercado mundial, siendo el método Open Pit el que ofrece mayores perspectivas.

Los primeros pasos en la técnica de minado Open Pit fueron

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

dados por los Ingenieros Daniel C. Jackling y Robert C. Gemmel, quienes en 1398 escribieron su reporte sobre las minas del Coronel Enos A. Wall en el estado de Utah.

Un punto importante al diseñar un trabajo de Open Pit, es determinar la máxima profundidad a la cual la mina puede ser trabajada económicamente.

Entre otras consideraciones que se deben tomar en cuenta se tiene la relación desmonte-mineral, el equipo de carguío y transporte y la razón de producción.

Es en Brasil donde a fines de 1962 se inician las investigaciones con el objetivo de ver las posibilidades técnicas y económicas de realizar el transporte de finos de mineral de fierro desde el Cuadrilátero Ferrífero hasta el litoral Atlántico, en un recorrido de 300 á 400 kms. En 1963 se obtienen los resultados de las investigaciones y experiencias del año anterior, lo que les permite afirmar categóricamente que dicho transporte es factible y perfectamente aceptable.

Dos patentes de éste proceso fueron registradas a fines del siglo pasado, una en Inglaterra y otra en Estados Unidos, más no lograron suceso inmediato, pues es apenas en 1914 cuando surge la primera aplicación comercial.

Actualmente sólo en Florida existen 15 "pipelines", habiendo también en Francia, Canadá, Ohio, Rusia, Chile y Africa.

Las minas de Marcona, principales productoras de mineral de hierro del Perú, están ubicadas a 400 kms. en línea recta al Sur Este de Lima, en una pnellanura a 300 metros sobre el nivel del mar. El depósito es de origen metasomático, por reemplazamientos de mantos pre-existentes, unos calcáreos ó dolomíticos y otros arenosos ó tufáceos.

Luego de una serie de experiencias para el tratamiento del mineral, todas con resultados altamente satisfactorios, Marcona Mining Company se decidió por la construcción de una planta de beneficio ubicada en la bahía San Nicolás a un costo de 50 millones de dólares, entrando en producción en 1962.

El Cuadrilátero Ferrífero del Brasil que tiene un área de más ó menos 7 mil Km², durante el ciclo de oro dió inmensas riquezas para el tesoro de Portugal, constituyendo hoy uno de los



TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

principales alicientes de la creciente revolución industrial brasilera. La geología del Cuadrilátero es bastante compleja, teniendo un mínimo de 3 series de rocas sedimentarias separadas por discordancias principales. Tres edades de intrusiones graníticas son conocidas, presentándose las rocas falladas y metamorfoseadas en gran variedad.

La explotación de los depósitos distribuidos a lo largo del Cuadrilátero es hecha por compañías nacionales, siendo las principales Vale Do Rio Doce, Casa de Pedra, Samitri y Mannesmann.

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO I

GENERALIDADES

Introducción.-

Si la minería ha impreso su huella y marcado el rumbo en las bases y desarrollo de la civilización actual, en el caso del Perú se acentúa y desborda al contemplar la Geología Peruana en el espacio y en el tiempo. La Geografía y la Geología peruanas representan en sí el hecho más decisivo de nuestra formación como hombres y como pueblo. La influencia telúrica representada en la grandiosidad del panorama, en las dificultades para conquistar y dominar sus agentes naturales, ha sido, es y será siempre el mejor reto a los que habitamos esta tierra para conquistarla, dominarla y ponerla al servicio de la colectividad.

El relieve de nuestro territorio lo debemos a la cordillera de los Andes que con sus 7,500 km. de largo, desde Colombia hasta la Tierra del Fuego constituye la más larga del mundo, donde se destacan los grandes picos nevados del Huascarán con 6,750 m., el Huandoy, el Ranrapalca, el Carnicero y otros más. Los ríos que corren hacia el oriente unen sus aguas en la cuenca hidrográfica más grande del mundo donde nace el río más caudaloso de la tierra: el Amazonas. Y por contraste tenemos la angosta faja desértica costanera con sus cortos ríos torrenciales que corren hacia el Pacífico, caracterizada por la falta de lluvias y su clima típico, influenciado por la vecindad del mar y la temperatura baja de las aguas del litoral. Los tablazos de la costa, el terciario marino costanero y el hundimiento de un macizo de dicha costa son factores geológicos de primera importancia en ésta zona.

La intensa erosión fluvial de la sierra y la falta de vegetación exuberante ha permitido o ha puesto al descubierto gran número de yacimientos, cosa que no ha sucedido en la Costa, ni en la Montaña.

La extensión superficial del territorio, es, en números re-

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

dondos, un millón cuatrocientos mil kilómetros cuadrados.

Durante las últimas décadas, la industria minera del Perú ha crecido a un ritmo marcadamente acelerado, expresado por el incremento de su valor bruto y tonelaje de las exportaciones.

La producción minera proviene de la explotación de criaderos de variados tipos metalogenéticos cuyas menas varían mineralógicamente desde una simple asociación como en el caso de la gran minería de cobre ó de la explotación de hierro, hasta una compleja asociación paragenética de sulfosales de plomo, zinc y plata, como la que corresponde a la mayoría de las minas productoras de éstos metales.

Los recursos del país en hierro, tienen una distribución geográfica aparentemente diferente a la de los distritos mineros no-ferrosos.

Frácticamente la totalidad de las reservas demostradas, están concentrados en la faja circunpáfrica y en particular en un sólo criadero (Marcona). Los recursos prospectivos de éste metal, tienen sin embargo en parte una distribución paralela con la distribución del cobre prospectivo en la faja andina. Cuarenta por ciento del hierro prospectivo se ubica en la faja metamórfica meridional andina, genéticamente asociada al proceso de mineralización de los Andes peruanos.

Los recursos de hierro, están distribuidos principalmente en dos grandes fajas o provincias metalogenéticas cuyas intrincadas relaciones genéticas, sugieren una cierta unidad que concatena todo el proceso mineralizante en el país. Los yacimientos de la faja costera meridional acumulan el 85% de las reservas demostradas de hierro, en criaderos del tipo de reemplazamiento, en calcáreos metamorfozados. La continuidad del mineral en manchas o bolsones, aseguran en éste tipo de yacimientos una gran reserva de mineral con relativo bajo costo de exploración. Las reservas prospectivas, son prácticamente función de la intensidad de la exploración, desde que no existen evidencias de su limitación espacial.

La segunda gran provincia de hierro, se alinea en la continuación o en los márgenes de la faja cuprífera de los An-

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

des Meridionales. Los criaderos son directamente productos del proceso metamórfico y llevan las características del mismo.

La minería de éstos tiempos, al amparo del nuevo Código, no sólo ha significado grandes inversiones, muchas utilidades, inmensos proyectos y récords de producción; la nueva política minera asegurando las inversiones y dando aliciente al empresario ha hecho posible una nueva política social de mejores salarios, cómodas viviendas, mejoras en el bienestar y la implantación de un nuevo Reglamento de Higiene y Seguridad que ampara, cautela y defiende el capital humano.

La obra y labor que hemos reseñado a grandes rasgos, sobre todo la de los últimos 70 años, ha sido y es la obra de los ingenieros de minas; ellos con su sacrificio y con su esfuerzo creador han forjado una obra de gran aliento para la economía nacional. Teniendo siempre en mente, como dijo Francisco García Calderón, "una juventud desinteresada y grave, silenciosa y laboriosa, sin la inquietud del éxito inmediato como son los Ingenieros de Minas, harán la grandeza definitiva del Perú".

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

El Hierro en el Perú - Distribución geográfica.-

Costa Norte

TAMBOGRANDE.-

Ubicación: Departamento de Piura, 45 km. al Este de Piura, y 36 km. de Sullana.

Tipo de depósito: Reemplazamiento en caliza, cerca de un batolito.

Mena: Hematita roja en estado variable: compacto, terroso, cavernoso y brechoso.

Análisis del Mineral Leyes promedio:

Fe : 38%

Al : 0.90%

Si : 18.50%

H₂O : 6.80%

Peso específico: 3.21

Reservas: Se indica aproximadamente 12 millones de Tn. con leyes mencionadas (1903).

ZANA.-

Ubicación: Lugar denominado Cerro Colorado. Se trata de un depósito de más de 10 km. de extensión.

Leyes: Sobre 70% de Fe.

Costa Centro

YAURILLA Y TINQUINA.-

Ubicación: Afloramientos ubicados a 14 km. de Ica.

Tipo de depósito: F. Fuchs considera éstos depósitos como segregaciones magmáticas de rocas básicas tipo basalto.

Se trata de grandes masas de fierro oxidado, magnetita y hematita, encajonadas en rocas de gabro y labradorita.

El depósito es de origen magmático, habiéndose producido una segregación del fierro.

Mena: Es magnetita, la cual se encuentra en vetas de 1-12 mts. de ancho y hasta 400 mts. de largo.

Análisis: 46.4 - 62.4% Fe.

0.35 - 0.85% P.

0.60% S.

TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Reservas: 1'045,000 Tn. de fierro con ley promedio de 60% Fe. y 0.4% P; incluyendo cuatro depósitos lenticulares dentro de andesita, cercanos al cuerpo principal.

MARCONA.-

Ubicación: Departamento de Ica, Provincia de Lima y distrito de San Juan.

El acceso al área se hace por la Panamericana Sur hasta Nazca (450 Km.) y luego se recorre 42 Km. hasta encontrar la pista construída por la compañía, en un recorrido de 35 Kms.

Historia: Federico Fuchs descubre el depósito en 1904 investigando un prospecto de cobre en el cerro Tunga.

En años siguientes se hacen estudios sobre las anomalías magnéticas.

En 1952 el Gobierno Peruano, la Corporación del Santa y la Utah Construction Company celebran un acuerdo mediante el cual la Utah explotaría las concesiones de Marcona.

Para financiar e iniciar las operaciones, la Utah se une con Cyprus Mines Corporation y forman una nueva Compañía, la Marcona Mining Company el 9 de Enero de 1953.

Geología: La mineralización de Marcona se presenta en dos maneras: ya sea como grandes cuerpos masivos de magnetita que penetran y reemplazan rocas calcáreas de la formación más antigua de Marcona, ó como magnetita diseminada en la formación más arenosa y joven de cerritos. La zona superficial de la mayor parte del depósito ha sido sometida a oxidación y lixiviamiento, con conversión de la magnetita primaria en martita y limonita. Los depósitos varían en tamaño, desde vetas irregulares y muy falladas de pocos metros, hasta grandes cuerpos mineralizados de forma tabular con fuerte buzamiento.

Se tiene tres zonas bien marcadas:

- a) Zona de Lixiviación.
- b) Zona de Sulfatos.
- c) Zona de Sulfuros primarios.

El depósito es de contacto neumatolítico.

Mineralización: Las menas principales son magnetita y hematita. Como minerales de contacto se tiene andracita, actinolita, epítota, wollastonita, etc.

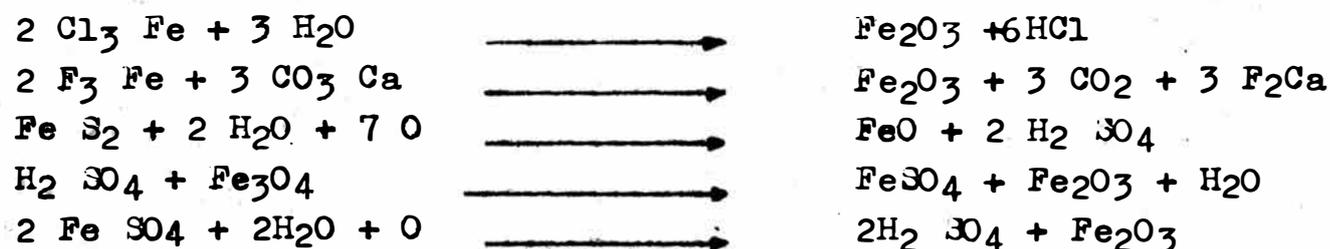
TESIS DE GRADO

UNI facultad de minas

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

La génesis del depósito es sencilla:



En general se tiene una masa de granito que ha sido inyectada en el Paleozoico.

Leyes:

- a) Zona de Lixiviación:
- | | | |
|------------------|---|--------------|
| Fe | : | + 60% |
| S | : | 0.15 - 0.20% |
| P | : | 0.05 |
| SiO ₂ | : | 6% |
- b) Zona de Sulfatos:
- | | | |
|----|---|------|
| Fe | : | 56% |
| S | : | 1.7% |
- c) Zona de Sulfuros:
- | | | |
|----|---|---------|
| Fe | : | + 60% |
| S | : | + 1% |
| Cu | : | - 0.06% |

Reservas: 200 millones de Tns. de mineral, con leyes promedio de 57% de Fe, y 460 millones de Tns. de mineral posible.

ACARI.-

Ubicación: A 56 Km. al Este del Puerto San Juan (Nazca) y a 525 Kms. al Sur de Lima.

El depósito está situado entre 700 y 1000 metros sobre el nivel del mar.

Historia: En 1,954, se celebra un contrato con la Republic Steel Corporation of Cleveland, Ohio para la explotación del depósito. La Republic Steel Corp contrató a su vez a la Utah Construction Corporation para que realice un programa de perforaciones diamantinas y construcciones de túneles y galerías.

En 1,958 se firma el contrato para la financiación, con intervención y garantía del gobierno peruano. El grupo Rockefeller suministra el capital, así como también la Pan American Commodities S.A., y la Wells Overseas Ltd.

Depósito: Consiste de una veta de fierro encajonado en rocas

de diorita y granodiorita. El afloramiento puede seguirse sobre 1,100 m y 900-1200 m. de altura.

La veta rellena una falla premineral.

A 250 m. al Este de ésta veta, existe otra de 150 m. de largo y 60 m. de profundidad, siendo su ancho de 9 m.; que es muy inferior al de la otra que es de 30 m.

Existen otras vetas que están en exploración.

El depósito es explotado a tajo abierto y a cielo abierto, por la Wells Overseas Ltd.

Mineralización: Las vetas están compuestas de: Limonita y Hematita.

Leyes: Fe : 66%
S : 0.1%
P : trazas.



Reservas: Se tiene en la veta principal 10'000,000 Tn. con 66% de Fe.

CHALA.-

Ubicación: Depósito "La Negrita", ubicado a 2 Km. de Chala, Provincia de Caravelí, Departamento de Arequipa.

Historia: La compañía es de propiedad de Jorge Kudryavseff, de Lima, quien da opción por 2 años a la Ferunex Maritime and Commercial S.A.

La Mitsubishi Trading Co. y Mitsubichi Mining Co. harían un reconocimiento magnetométrico.

Depósito: La concesión cubre un área de 700 Has., ubicadas entre 4 y 10 Kms. al S.E. de Chala.

El método de explotación es subterráneo, pudiéndose trabajar a cielo abierto 3 afloramientos.

Reservas: 24'000,000 de Tns. con leyes de 61% de Fe.

CERRO DE CASCA ó TARPUY.-

Ubicación: 5 Km. al Norte de Matarani, departamento de Arequipa.

Historia: Descubierta por Alberto Bouroncle y Antonio Palma, habiéndose hecho estudios geológicos posteriores.

Geología: Existe un gneiss de edad precámbrica hacia el Norte, de origen posiblemente sedimentario debido a su marcada foliación; y un extenso afloramiento de granito rosado en la pampa.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

En las zonas altas del Cerro existen gneiss y esquistos con hematita y magnetita, con alto porcentaje de sílice, por lo que lo podríamos llamar itabirito.

Existen bandas ó capas de hematita ó magnetita puras, de espesores variables entre 1 mm - 5 mm.

Ganga: Cuarzo, apatito, augita, hornblenda y andalucita.

La Ilmenita está asociada a la hematita y magnetita.

Existen rodados con más de 50% de Fe.

La mineralización es Oligesto (90%) y magnetita.

Leves: Fe : 36%

SiO₂: 41%

P : 0.10%

El origen del depósito es sedimentario; posteriormente la mena ha experimentado un metamorfismo intensivo.

Reservas: La zona mineralizada tiene una forma piramidal, con un tonelaje de 1'000,000 de Tns. y ley promedio de 35% de Fe.

CERRO MIRADOR.-

Ubicación: 4 Km. al norte de Tarpuy, y sobre 1,050 metros sobre el nivel del mar.

Geología: Se trata de un gneiss precámbrico, con un volúmen regular de granito intruído.

Las capas mineralizadas son más delgadas que en el cerro Tarpuy.

Leves: Fe : 40.7%

SiO₂ : 44.6%

P : --

S : --

SAMA.-

Ubicación: Departamento de Moquegua.

Depósito: El depósito consiste en diversos filones de magnetita con hematita, de posición casi vertical, siendo las capas intensamente alteradas.

El espesor de los filones es hasta de 4 m., llegando su largo hasta 2 kms. y la profundidad a 20 m.

Se estima que el volúmen de las vetas de la región excede los 12 millones de Tns. con 50% Fe.

RAUL RIZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

AIJA.- (Cordillera). Existen 2 depósitos, con mena de hematita: Cerro China y Cerro Orco.

Cerro China: Llamado también, Cerro Imán ó Puspungo.

Ubicación: Situado sobre la margen derecha del río Aija, y a 500 - 700 metros sobre el nivel del valle.

Depósito: En la cumbre del cerro existe un filón atravesando pizarras, con una extensión de 15 m. y un espesor de 3 m.

Mena: Magnetita con pequeñas cantidades de limonita y una pequeña proporción de pirita.

Leyes: Varían de 67.7 á 70.5% de Fe.

Sobre el camino de Aija a Huaraz existe un filón de fierro con una ley de 61%.

Cerro Orco.- Está situado en la margen izquierda del río Aija, cerca a Aija.

Depósito: Existe un filón que tiene un afloramiento de 260 m. de extensión.

Leyes: Fe : 68%

Si : 1.73%

Geología: La génesis de éste depósito se debe a la acción de contacto entre pizarras y andesitas, que afloran en la vecindad de la veta y que está cargada de pirita; ésta se halla también en la pizarra en la zona de contacto. La mena contiene pirita diseminada. No se ha podido determinar si se trata de filones ó de un macizo mineralizado.

CALLEYCANCHA - ANCASH.-

Depósito: Según Pflucker, se trata de filones de 200 m. de largo por 1.10 m. de ancho. En otra zona hay tres vetas de 5.4 y 1.5 m. de potencia, teniendo un afloramiento de más de 600 m. de largo.

Mena: Hematita en forma de oligisto.

Leyes: Fe : 55.16%

S : 0.12%

P : 0.25%

filones atraviezan areniscas y cuarcita.

PASCOISCAI CRUZ.-

Ubicación: El depósito está situado al oeste de Cerro de Pasco.

RAUL RZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Mena: Es fierro manganifera atravesando cuarcita y pizarra.

Leyes: Fe : 28 - 30%

Mn : 16 - 22.5%

Contiene además P. As y Si.

VINCHOS.-

Ubicación: Está localizado cerca de Cerro de Pasco.

Depósito: El tipo es de metamorfismo de contacto entre granito y mármol.

El espesor es de 4 - 10 m. y la mineralización consiste en hematita.

CATAHUARIYOC.-

Ubicación: Está localizado cerca de Cerro de Pasco.

Depósito: Es tipo filoniano, con un espesor de 1 - 3 m. La mineralización consiste en Hematita.

JUNINTORRIOC.-

Segregación Magmática.

HUAYOCRESTAN.-

Filones de hematita.

HUACRAVILCA.-

Ubicación: Se encuentra a 50 Km. de Huancayo y a una altura de 4,650 metros sobre el nivel del mar. Está situado en la región carbonífera de Jatunhuasi.

Depósito: Se trata de un depósito de contacto entre caliza liásica y una intrusión ígnea ácida, aflorando en dos cuerpos independientes de 1,000 x 200 m. c/u.

Según Steinmann en 1929, se trata de una segregación magmática.

Mineralización: Hematita con algo de pirita y Magnetita.

Leyes: Fe : 60% en parte con 10% pirita.

S : 0.5 - 0.7

P : --

Peso específico de la mena: 4

Reservas: 64'000,000 Tn de mena a la vista y probable y 60'000,000 Tn de mena posible.

ANDAHUAYLAS - APURIMAC.-

Se trata de calizas grises que en las inmediaciones del lugar están alteradas por una intrusión ígnea. En la superficie de

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

la caliza se presentan menas de fierro manganífero.

SUR DEL PERU - CUZCOCANAS.-LIVITACA.-

Ubicación: Distrito de Chumbivilca.

Depósito: Se trata de segregaciones magnéticas de magnetita y hematita en diorita y gabro cuarcífero.

Reservas: En el Cerro Yanacaca se tiene 450,000 Tns. de mena a la vista, con una ley de 55% Fe. (Dueñas en 1907).

HUINE.-

Ubicación: Cerca al Cuzco.

Depósito: En el Cerro Chunchulanca se tiene un depósito de contacto de hematita entre caliza y diorita cuarcífera.

PUNOCERRO SANTA LUCIA.-

Ubicación: Esta localizada en la provincia de Lampa, a 3 km. al N.O. de la fundición de Santa Lucía.

Depósito: Es de origen metamórfico de contacto, entre un macizo de diorita y rocas sedimentarias de edad jurásica y cretácica.

Mineralización: Existen por lo menos tres depósitos que aparecen como sombreros en las cumbres de cerros. El mineral es magnetita con pequeñas cantidades de hematita.

Leyes: Fe : 60%

P : 0.09%

S : 0.05%

Si : 9.80%

Reservas: Sobre una extensión de 2,000 Has. y 50 m. de profundidad se han cubicado entre 10 - 20 millones de Tns.

HACHACACHI - HIERRO MAGNET.-

Ubicación: Al 22 km. al S.O. de Ilave y a una altura entre 4,100 - 4,200 metros sobre el nivel del mar. El afloramiento se halla en el cerro al S.O. de Hachacachi. Fué descubierto en 1957.

Geología: El fierro se presenta en masas a manera de sustitución de una caliza que sobreyace a una andesita. Las menas

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

afloran en cuerpos lenticulares aislados. El 75% es magnetita y el 25% hematita.

Leyes: Fe : 67.7%
 P : trazas
 S : 3%
 Mn : 3%
 Si : 4%

Reservas: 3'000,000 de Tns.

CABALLO UYO.-

Ubicación: 2.5 Km. al N 70° O de Hierro Magnet.

Geología: Cuerpo de magnetita - hematita con una ley de 62% de Fe.

Reservas: Desconocidas.

FUCARA.-

Ubicación: 6.5 Km. al S de Hierro Magnet y sobre 4,100 metros sobre el nivel del mar.

Geología: Se trata de un depósito de sustitución relacionado con andecita terciaria. La ley es de 62% de Fe.

ORIENTE - LORETO

PEBAS.- Depósito de limonita.

NAUTA.- Depósito de limonita.

CHANCHANAYO.-

Raymondi narra que en 1870 encontraron en el Valle de Chan-chamayo un caserío de los indios campas, con un gran edificio de 15m. de largo por 12 m. de ancho y otro tanto de alto; en el que vieron un horno de fundición de fierro, que parecía recién construido con ladrillos refractarios y cubierto de una doble capa de adobe.

El descubrimiento de una gran cantidad (20 - 30 quintales) de mineral de fierro oligístico, a poca distancia del horno y de carbón, listo para ser fundido demostró que ellos mismos fundían su fierro directamente del mineral, y que luego lo forjaban para darle diversos usos.

En el siglo XIX con la llegada de los civilizados todo se abandonó, perdiéndose también las noticias de los yacimientos que proveían a los campas.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Exportación de menas de fierro.-

<u>AÑO</u>	<u>Cantidad Tns.</u> <u>Anual</u>	<u>Contenido Metálico</u> <u>Tns. Anual</u>	<u>Valor S/</u>
1953	889,700	553,223	107'815,696
1954	1'927,416	1'169,303	250'136,638
1955	1'696,626	1'019,307	152'063,014
1956	2'693,564	1'629,672	281'962,785
1957	3'677,185	2'226,820	446,387,255
1958	2'509,834	1'523,976	384,095,611

Génesis de los Depósitos.-SEGREGACION MAGMATICA

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Torrioc	Junín
Livitaca: C° Quirioca y Yanacaca	Chumbivilca - Cuzco

CONTACTO NEUMATOLITICO

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Tambogrande	Fiura
Huacravilca	Huancayo
Marcona	San Juan - Ica
Huine: C° Chunchulanca	Cuzco
Santa Lucía	Lampa - Puno.

HIDROTERMAL

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Aija: C° China y Orco	Aija - Cordillera
Calleycancha	Ancash
Vinchos	Cerro de Pasco
Catahuariyoc	Cerro de Pasco
Yaurilla	Ica
Tinquiña	Ica
Acari	Nazca - Ica
Iscai Cruz	Cerro de Pasco.

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

Huachacachi	Ilave - Puno
Caballo Uyo	Ilave - Puno
Pucará	Ilave Puno
Sama	Moquegua

Intemperismo en la superficie continental - Menas de fierro sobre calizas:

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Andahuaylas	Apurímac

Secuencia MetamórficaSerie Sedimentaria

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Huayocrestan	Junín
Cerro Casca ó Tarpuy	Matarani Arequipa
Cerro Mirador	Matarani Arequipa

Génesis Incierta

<u>NOMBRE</u>	<u>UBICACION</u>
Pebas	Loreto
Nauta	Loreto
Zaña	Cerro Colorado - Piura
Chanchamayo	Valle Chanchamayo - Pasco
Chala	Chala - Arequipa.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

Minería Subterránea v.s. Minería Open Pit.-

Con el fin de combatir la tendencia del aumento en los costos de producción, que no es exclusivo de la industria minera, ni tampoco un problema nuevo, la minería ha recurrido a la investigación, tecnificación y mecanización de métodos de trabajo como único medio posible para inclinar la balanza a su favor y poder mantener la demanda en el mercado mundial, a pesar de que sabemos, en la minería los costos de producción se incrementan constantemente, mientras que los bajos precios de los productos minados se mantienen estables y en algunos casos aún han ocurrido bajas en éstos precios.

El minado a cielo abierto ó Open Pit ofrece mayores perspectivas para la investigación tecnológica, cuyo fin es trabajar depósitos de minerales, de baja ley, método en el que normalmente se tiene que mover grandes volúmenes de roca para poder compensar los bajos precios de los productos.

Se debe tener en cuenta también que el sistema de open pit necesita mano de obra especializada, para operar y mantener su maquinaria y equipo pesado, altamente especializado. El personal que trabaja en el mantenimiento de la maquinaria, debe ser más o menos en igual número a los que trabajan en la operación de la mina, debido a que la maquinaria se encuentra sometida a condiciones de trabajo muy duras y necesita de numerosas reparaciones para mantenerlas en funcionamiento.

Con éste método se soluciona el problema de la imposibilidad de trabajar dichos depósitos por un método subterráneo cuyos costos permitan obtener un producto comercial.

Si en una operación en la que se mueven miles de toneladas diariamente, se consigue una reducción de unos cuantos centavos por tonelada, reducción de costos que sirve para compensar mayores gastos en otras secciones de producción.

Los límites de una mina open pit están en general gobernadas por la extensión del cuerpo mineral, la fisiogra-

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

fía y forma del terreno, y el ángulo requerido de inclinación; sin embargo, las consideraciones económicas son de importancia capital.

En todo caso, un punto importante al diseñar una mina open pit es determinar la máxima profundidad al cual la mina pueda ser trabajada económicamente : se alcanza éste límite cuando el costo de operación al minar una tonelada de mineral en el banco más profundo del pit, más el costo de remover el desmonte de sobrecarga en el correspondiente banco, es igual al costo de operación al minar una tonelada de mineral usando un método subterráneo apropiado.

Otras consideraciones que se deben tomar en cuenta al diseñar una mina open pit:

- 1.- Precio de los metales que se van a beneficiar.
- 2.- Relación desmonte - mineral (striping ratio).
- 3.- Razón de producción.
- 4.- Inclinación final de las vertientes del pit (overall slope).
- 5.- Vías de transporte.
- 6.- Equipos de carguío y transporte.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION
1965**

CAPITULO II

EL FIERRO EN EL MERCADO MUNDIAL

Expansión de las Reservas Mundiales.-

Según "British Iron & Steel Federation" en su estudio "Structural Changes in World Ore", a partir de 1957 comienza a ocurrir dramática alteración en el panorama del mercado mundial de fierro.

En lugar de escasez de mineral de transporte marítimo, acompañado por la subida de precios verificada en los primeros años después de la guerra, se transforma gradativamente en un cuadro de exceso de navíos disponibles y exceso de mineral en el mercado.

Entre 1946 a 1962 la producción mundial de acero fué triplicada, pasando de 110 millones a 361 millones de toneladas anuales. En cuanto el crecimiento medio anual entre las dos guerras hasta 1939 había sido de 3.5%, se verificó en el período de 1945 a 1957 un crecimiento medio de más de 8% al año. Esa expansión siderúrgica debería provocar una intensa demanda de mineral, especialmente del tipo de alto tenor. El tenor a escasez acompañó al crecimiento de la demanda, especialmente en Estados Unidos, donde 340 millones de toneladas de mineral de alto tenor provenientes de las regiones de Lago Superior fueron consumidas durante la Segunda Guerra Mundial. La reacción natural a esa preocupación de escasez, que en poco se extendiera por Inglaterra, Europa Occidental y Japón era la siguiente:

- a) Investigaciones de nuevas reservas.
- b) Ampliación de las fuentes de producción y transporte.
- c) Investigaciones de nuevos tipos de mineral y nuevas técnicas siderúrgicas.

Producto de un intenso esfuerzo de investigación se ve reflejado en el incremento de las reservas mundiales de 100 mil millones de toneladas en 1950 a 250 mil millones en 1962, aumentando la producción de 242 millones de toneladas a 513 millones.

RAUL RZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Revolución Tecnológica - Pellets.-

La respuesta más dramática y de más profundo sentido al desafío de la escasez fué la revolución tecnológica en el beneficiamiento de mineral.

A fines de la Segunda Guerra Mundial, las siderúrgicas intensificaron la utilización de finos de mineral, que se formaban en las siderúrgicas y en las minas, mezclándolas con finos de coke y fundentes, en una operación de prefusión en hornos especiales que daba como resultado un producto de apariencia acaramelada denominada sinter, usable en los altos hornos. En 1958 ya Rusia contaba con una producción de sinter de 50 millones de toneladas por año y los Estados Unidos con 35 millones.

Los pellets son obtenidos por el rodamiento en tambores ó discos especiales, de óxidos de fierro finamente molidos y humedecidos en mezcla con ciertas arcillas que actúan como aglomerantes y en seguida sometidos a un proceso de secado, en el que se consolidan los granos de fierro en pelotas resistentes. Este producto con alto tenor en fierro y libre de impurezas es un material ideal para emplearlo en los altos hornos, ya que mantiene la circulación de aire y gases en el interior del horno, permitiendo perfecto equilibrio y continuidad en la operación.

En Labrador las instalaciones de Carol Lake de la Iron Ore of Canada donde la hematita tiene de 36 a 38% de óxido de fierro, es transformada en pellets de cerca de 66% de fierro.

Reservas Mundiales de Mineral de Fierro en Varias Epocas.-

(en millones de toneladas largas)

País	Engineering & Mining Journal 1926	Naciones Unidas 1955	British Iron & Steel Federation 1962
Canadá	4.200	2.900	11.000
E. U. A.	10.450	7.300	5.400
México	290	500	500
Brasil	7.000	16,250	20.000

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Venezuela	15	2.200	2.200
Perú	564	740	740
Chile	440	190	3.000
Francia	8.100	6.560	4.400
Reino Unido	5.969	3.760	2.600
Suecia	2.203	2.400	3.900
Alemania	1.317	1.500	5.500
España	1.115	990	1.000
U.R.S.S.	2.056	-	77.000
Polonia	128	-	370
Liberia	-	100	1.000
Guinea	-	500	1.000
Africa del Sur	1.095	2.600	3.500
Mauritania	-	-	200
Gabao	-	-	750
Algeria	-	300	500
Australia	919	520	13.000
India	3.326	19.000	21.000
China	943	4.600	4.600
Filipinas	805	1.300	1.300
Indonesia	2.602	850	850
Otros	4.274	9.520	64.690
<u>TOTAL</u>	57.811	84.580	250.000

Previsión de demanda en 1972-1975.-

	Prev.demanda ferrogusa en 1.110 t.	Tenor Prob. de mineral propio %	Frev.Prod.Domés. en 1972/75 en 1.000 t.	
			Bruto	Cont.Fe.
Europa Oriental	119.600	40	299.000	119.600
Europa Occidental	109.100	38	209.400	80.800
Benelux	11.600	28	10.000	2.800
Francia	20.800	32	98.000	31.400
Italia	8.200	50	3.400	1.700
Holanda	2.200	-	-	-

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Alemania Occidental	28.700	25	21.000	22.900
TOTAL MCE	71.500	31	132.400	41.200
Inglaterra	22.900	30	22.000	6.600
Otros Eur. Ocid.	14.700	60	55.000	33.000
América del Norte	34.800	55	164.000	90.000
Estados Unidos	78.200	50	110.000	55.000
América Latina	12.200	65	64.600	42.000
Africa	4.700	60	28.800	17.300
Extremo Oriente	46.900	60	45.000	27.000
Japón	24.900	40	3.000	1.200
Asia Menor	1.200	50	2.400	1.200
Oceanía	6.400	56	11.400	6.400
Mundo	384.300	47	824.600	384.300

Déficit(-) al Exportar(+) en 1.000 t.
de contenido de Fe.

Europa Oriental	--
Europa Occidental	- 28.300
Benelux	- 8.800
Francia	+ 10.600
Italia	- 6.500
Holanda	- 2.200
Alemania Occidental	- 22.900
TOTAL MCE	- 30.300
Inglaterra	- 16.300
Otros Eur. Occid.	+ 18.300
América del Norte	+ 5.200
Estados Unidos	- 23.200
América Latina	+ 29.800
Africa	+ 13.200
Extremo Oriente	- 19.900
Japón	- 23.700
Asia Menor	--
Oceanía	--
Mundo	--

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Previsión de Comercio de Mineral de Hierro en 1972-1975.-

(En 1.000 t de Fe)

<u>Regiones Importadoras</u> <u>y Origenes</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Regiones Importadoras</u> <u>y Origenes</u>	<u>Cantidad</u>
<u>Europa Occidental</u>	28.300	<u>América del Norte</u>	13.000
<u>Origenes:</u>		<u>Destino:</u>	
Africa	12.300	Europa Occidental	9.000
América Latina	7.100	Extremo Oriente	4.100
América del Norte	9.000		
<u>Extremo Oriente</u>		<u>América Latina</u>	29.800
<u>Origenes:</u>		<u>Destino:</u>	
América Latina	14.900	Europa Occidental	7.100
América del Norte	4.000	América del Norte	7.800
Africa	1.000	Extremo Oriente	14.900
<u>Estados Unidos</u>	23.200	<u>Africa</u>	13.200
<u>Origenes:</u>		<u>Destino:</u>	
Canadá	15.100	Europa Occidental	12.200
América Latina	7.800	Extremo Oriente	1.000

Estimación del Mercado para América Latina en 1972-1975.-

(En 1.000 toneladas)

<u>Exportador</u>	<u>Destino</u>			<u>Total en Fe cont.</u>	<u>Tenor probable -%</u>	<u>Mineral bruto</u>
	<u>Europa</u>	<u>E.U.A.</u>	<u>Oriente</u>			
Brasil	4.000	1.000	3.700	8.700	65%	13.400
Venezuela	2.000	5.000	1.000	8.000	60%	13.300
Chile	500	800	5.000	6.300	60%	10.500
Perú	600	1.000	5.200	6.800	60%	11.300
<u>Total:</u>	7.100	7.800	14.900	29.800	62%	48.500

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965****Las 25 Mayores Empresas del Mundo Libre.-**

Empresas Clasificadas por la exportación en 1962	País ó Estado	Tons. Embarcadas	
		1961	1962
Luossavaara-Kilrunavaara AB	Suecia	17.100.000	16.400.000
Oliver Iron Mining Division	Minnesota	14.543.187	15.459.789
Pickands Mather & Co.	Mich. Minn.	10.669.925	11.966.692
Iron Ore Co. of Canada	Quebec Lab.	7.981.268	10.536.692
Orinoco Mining Co.	Venezuela	12.430.997	10.514.938
The Hanna Mining Co.	Mich. Minn.	11.151.250	9.235.562
Cía. Vale do Rio Doce S.A.	Brasil	5.008.589	6.050.000
The Cleveland-Cliffs Iron Co.	Mich. Minn.	5.287.563	5.582.459
Reserve Mining Co.	Minnesota	5.879.769	5.512.365
Quebec Cartier Mining Co.	Quebec	1.500.000	4.620.214
Marcona Mining Co.	Perú	4.307.000	4.588.000
Jones & Laughlin Steel Corp.	Mich. Minn.	3.158.468	4.565.400
Inland Steel Co.	Mich. Minn.	2.746.492	3.427.357
Kaiser Steel Corp.	California	3.705.395	2.869.677
Iron Mines Co. of Venezuela	Venezuela	--	2.725.000
Trafik AB Grangesberg-Oxelosund	Suecia	2.000.000	2.391.000
Columbia-Geneva Steel Division	Utah, U.S.A.	2.469.600	2.126.957
Sierra Leone Development Co. Lt.	Serra Leoa	1.763.200	1.918.313
Bethlehem Steel Co.	Pennsylvania	--	1.667.220
Algoma Ore Properties Division	Ontario	1.634.143	1.566.565
Dominion Steel & Coal Corp. Ltd.	New Foundland	2.292.369	1.275.286
Republic Steel Corp.	Mich. Minn.	--	979.742
Steep Rock Iron Mines Ltd.	Ontario Canada	1.213.672	962.835
Woodward Iron Co.	Alabama, U.S.A.	931.753	943.278
Oglebay Norton Co.	Minn. Ont. Wis.	1.704.669	913.753

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Plantas de Pellets - Panorama Mundial.-

Propietarios	Estado Pais	Tipo	Capacidad Anual	Inicio Operac.
Reserve Mining Co.	Minnesota U.S.	Horizontal Grate	9,00	1956
Erie Mining Co.	Minnesota U.S.	Shaft Furnace	7,50	1955
Bethlehem Steel Co.	Pennsylv. U.S.	Shaft Furnace	2,00	1962
Ford Motor Co.	Michigan U.S.	Grate Kiln	2,00	
The Marquette Iron Mining	Michigan U.S.	Grate Kiln	1,80	1962
Columbia Geneva Steel Co.	Wyoming U.S.	Horizontal Grate	1,50	1962
The Hanna Mining Co.	Michigan U.S.	Horizontal Grate	1,25	1963
Empire Iron Co.	Michigan U.S.	Grate Kiln	1,20	1966
Cleveland Cliffs	Michigan U.S.	Grate Kiln	1,20	1966
Kaiser Steel	California	Shaft Furnace	1,00	1963
Humboldt Iron Mine	Michigan U.S.	Grate Kiln	0,80	1960
The Marquette Iron Mining Co.	Michigan U.S.	Horizontal Grate	0,66	1956
Bethlehem Steel Co.	Pa. U.S.	Shaft Furnace	0,33	1950
Carol Pellet Co.	Newfound land	Horizontal Grate	5,00	1965
Wabush Iron Co.	Quebec Canadá	Horizontal	4,50	1965
Anaconda Co.	Ontario Canadá		2,00	
North American Rare Metals Co.	Ontario Canadá		1,40	
ones And Laughlin Steel Co.	Ontario	Grate Kiln	1,00	1964

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

Marmoraton Mining Co.	Ontario Canadá	Shaft	1,00	1955
Caland Ore Co.	Ontario Canadá	Horizontal Grate	1,00	1966
Inco	Ontario Canadá	Horizontal Grate	0,90	1956
Stelco	Quebec Canadá	Shaft Furnace	0,80	1958
M. A. Hanna Co.	Ontario Canadá	Shaft Furnace	0,60	
Kukatush Mining Co.	Ontario Canadá		0,50	
Lkab	Suecia	Horizontal Grate	1,50	1965
Lkab	Suecia	Shaft Furnace	0,50	
Lkab	Suecia	Shaft Furnace	0,35	
Tgo	Suecia Noruega Finlandia		0,20 0,00 1,50	
Phoenix	Alemania		0,70	
Societe Des Mines De Fer De Segre	Francia	Shaft Furnace	0,09	1963
Montecatini	Italia		0,30	
Kawasaki	Japón	Shaft Furnace	2,50	1963
Nisso Steel	Japón		0,162	1963
Yahagi Seitetsu	Japón		0,14	1963
Koova	Japón		0,12	1963
Chowgule Cia.	Goa-India		1,00	1964
	España	Horizontal	1,00	1963
Marcona Mining Co.	Perú	Horizontal	1,00	1963
Cia. Vale do Rio Doce	Brasil		2,00	1967
Cia. Vale do Rio Doce	Brasil Minas Gerais		1,00	1967

TOTAL:

603,602

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Características Actuales del Comercio Internacional.-

Las necesidades rusas y chinas son atendidas enteramente por la producción doméstica, en cuanto la producción francesa satisface 96% de su propia demanda.

Las grandes transformaciones ocurridas después de la guerra aumentaron el movimiento internacional de mineral; el Japón por ejemplo que prácticamente no poseía reservas ferríferas pasó a Inglaterra como productor de acero. Italia y Bélgica desarrollaran industrias siderúrgicas que dependen en larga escala de mineral importado. Varios otros grandes productores, particularmente Estados Unidos y Alemania Occidental vienen reduciendo de manera creciente las reservas domésticas.

Como resultado de esas transformaciones el comercio internacional de mineral se vió cuadruplicado en la última década. En 1950 poco más de 41 millones de toneladas correspondiendo a 17% de la producción mundial cruzaron fronteras; en 1960 el tonelaje de ese tráfico fué de cerca de 151 millones correspondiendo aproximadamente a 30% de la referida producción.

Cinco países exportan más de 14 millones de toneladas por año, Francia, Suecia, Canadá, Unión Soviética Venezuela, representando en conjunto más de 60% del total de las exportaciones mundiales.

Los seis mayores importadores de mineral recibiendo cada uno más de 15 millones de toneladas anuales son Estados Unidos, Alemania Occidental, Luxemburgo, Inglaterra y Japón que absorben juntos más de 80% del comercio mundial. Las importaciones de Bélgica y Luxemburgo consisten en gran escala de mineral de bajo tenor recibido por vía férrea de depósitos franceses vecinos.

Los Estados Unidos, Alemania Occidental, Inglaterra y Japón importan casi exclusivamente mineral de alto tenor, transportado por vía marítima.

RAUL REZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO IIIMINERIA OPEN PITHistoria.-

Haciendo una corta reseña histórica de la minería metálica se puede ver que en sus orígenes, la minería fué considerada como un arte, el arte de extraer metales preciosos de las entrañas de la tierra. Posteriormente, y al probarse la utilidad y versatilidad de usos de los metales se comenzó a extraer no sólo metales preciosos sino también aquellos de menor valor. Y es desde ése entonces que la minería deja de ser un arte, pasando a ser "la ciencia de extraer económicamente los metales". De aquí en adelante la minería progresa lentamente en técnica, hasta llegar a principios del presente siglo en que se dan los dos pasos fundamentales con los que se inicia la era de la minería moderna y que fueron esenciales para el desarrollo de la gran minería Open Pit.

El primero de los pasos mencionados es en dirección a una nueva técnica en métodos de minado y fué dado por los ingenieros Daniel C. Jackling y Robert C. Gemmel, quienes en 1898 escriben su famoso reporte sobre las minas del coronel Enos A. Wall en Bingham Canyon, Estado de Utah. Estos dos ingenieros escribieron el primer análisis comprensivo y conservador sobre una empresa minera dedicada a la explotación de un yacimiento de cobre con valores de 2% (40 libras por tonelada). En este reporte no se menciona siquiera la posibilidad de emplear minado subterráneo (único empleado hasta ese entonces), recomendando más bien que la sobrecarga que cubre la zona mineralizada deberá ser removida, y luego el mineral y el material estéril tendrán que ser cargados por palas mecánicas a vagones de ferrocarril.

En dicho reporte también se recomienda que las dos mil toneladas por extraerse diariamente deberán de ser transportadas por varios kilómetros hasta un lugar en donde por

RAUL REO PATRON B.**PROMOCION 1965**

haber abundancia de agua se podrá moler y concentrar el mineral, utilizando para ello "molinos chilenos". Los señores Jackling y Gemmel finalizaron su informe probando con cifras que este nuevo método de explotación era el único sistema económico posible para trabajar estas minas con tan bajos valores de cobre. Es verdaderamente asombrosa la visión de estos ingenieros, ya que este reporte fué el más claro presagio escrito acerca del futuro de la minería en los yacimientos de pórfido de cobre. Sin embargo, es dudoso que la minería open pit hubiera podido progresar tan rápidamente de no haber sido por el segundo paso fundamental, que se dió en aquella misma época en lo relativo a concentración de minerales sulfurados.

Y fué en esta forma como la técnica y la investigación abrieron las puertas a la minería metálica Open Pit.

Exploración.-

El primer paso es establecer buenos controles para el futuro planeamiento del pit. El área por explorar debe ser cubierto por un sistema de triangulación, relacionado, si fuera posible a un sistema conocido, por ejemplo, los hitos del Instituto Geográfico Militar. De éste sistema se partirían con otras redes más pequeñas, estableciendo además, líneas de base a lo largo del área del futuro pit. De estas líneas de base se corren líneas transversales a intervalos regulares, por ejemplo, cada 100 pies, en ángulos rectos, tan lejos como sea necesario para cubrir el área completa sobre el futuro pit. Todas estas líneas fijadas por hitos y enumeradas servirán los futuros levantamientos topográficos, mapeos geológicos, ubicar los taladros de perforación, demarcar las vías de transporte, proyectar los bancos de explotación y otros. Siempre que sea posible, un levantamiento aerofotográfico realizado de antemano, es de gran ayuda para asegurarse de los resultados que posteriormente se obtengan.

El siguiente paso es el de llevar a cabo sistemáticamente

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

el trabajo de exploración, en el cual se pueden usar varios sistemas de perforación, dependiendo de la profundidad del depósito, tipo de roca, estructura, presencia de fallas y dikes, leyes y equipo disponible.

En los planos obtenidos de proyección horizontal y vertical se registran toda la información obtenida sobre topografía superficial, estudio y mapeo geológico, indicando las características de los mantos de mineral, fallas y dikes. Se demarcan igualmente los taladros de exploración por perforar y los resultados obtenidos.

En los tiempos actuales se prefiere realizar la perforación de prospección por el método de churn drill; anteriormente se usaba el de diamond drill; el primero resulta más barato y de gran flexibilidad para el muestreo.

Siempre que sea posible, una prospección geofísica realizada de antemano, será de gran ayuda en orientar los trabajos geológicos y de perforación.

En práctica generalizada perforar los taladros verticalmente cada 15 pies en líneas formando ángulos rectos, de acuerdo a las características fisiográficas que ofrezca el terreno.

Las muestras se toman y ensayan a intervalos de cinco pies. Los ensayos son combinados y promediados para intervalos más largos.

Conviene asegurarse de los resultados obtenidos perforando uno o más taladros en los lugares dudosos que se quiere comprobar.

Resultados desproporcionalmente altos o bajos son descartados.

Los trabajos de muestreo y ensaye deberían llevarse a cabo tanto en el depósito mineralógico en sí, como en la sobrecarga de desmonte, para definir los contornos económicos del depósito.

El éxito o el fracaso del proceso de explotación dependerá mayormente de la mayor o menor precisión que se tenga de la estructura mineralógica, fallas, dikes intrusivos y cajas.

Cabe recalcar que no todos los huecos son perforados tal

RAUL REZO PATRON B.

PROMOCION 1965

como son planeados, pues ocurren cambios inesperados como fallas que desplazan la mineralización, mineral de más baja ley que el que se esperaba, etc., contingencias que obligan a desplazar los taladros.

Reservas de Mineral.-

Las reservas de mineral son calculadas por niveles sobre la base de los ensayos promedio que se tiene para cada taladro, y sobre el criterio de que cada taladro gobierna el tonelaje contenido sobre el nivel hasta cierta distancia de los huecos vecinos. Los ensayos de los huecos son aceptados sin corrección, y se ha encontrado de que la ley del mineral extraído se aproxima grandemente a la ley que se encontró al calcular las reservas. En el estimado de los tonelajes, se usa generalmente el factor de 12 1/2 pies cúbicos por tonelada.

Para calcular el área de influencia de cada taladro en dirección horizontal, se usan los siguientes métodos:

1.- Método Poligonal.- Se asume de que el área de influencia de un taladro se extienda hasta la mitad de la distancia que de él existe hacia los taladros vecinos; se aplica cuando el espesor del depósito y los ensayos obtenidos varían uniformemente en direcciones opuestas, de tal manera que los errores tienden a compensarse, pues en caso contrario los errores tienden a acumularse. El área de influencia sería el polígono formado por las perpendiculares trazadas en los centros de las distancias de un taladro a los taladros vecinos. Este método es el más usado.

2.- Método Triangular.- Se basa en la relación lineal existente entre las diferencias de leyes correspondientes a los distintos taladros y las distancias existentes entre ellos. En depósitos con mineralización errática, ésta relación no sería línea. Para la aplicación de éste método se unen los taladros cercanos mediante rectas de modo que formen triángulos. Las leyes promedio de estos taladros y el área del triángulo se toman en cuenta para el cálculo de la ley final

y el tonelaje correspondiente al volumen definido por los tres taladros.

3.- Método Estadístico.- Mediante este método se determina la ley promedio de un depósito considerando sólo los ensayos promedios de los taladros, sin tomar en cuenta sus áreas de influencia. Este método es muy poco usado. 51

4.- Método de las Secciones Verticales.- Este método proyecta los ensayos promedio de cada taladro hacia planos ~~determinados~~ y las áreas de influencia de éstos ensayos se determinan por criterio en los respectivos planos. Este método presta gran ayuda en el proceso del diseño del pit.

Procedimiento General.-

Después de los pasos anteriormente citados, la administración de la Mina tiene que decidir sobre la ley cut-off del mineral, y sobre la relación desmonte - mineral, relación máxima que podría ser tolerada. Si el depósito mineral no tiene límites estructurales bien definidos, como generalmente pasa, se debe calcular la ley de separación entre desmonte y mineral, considerando los costos probables de operación, los precios probables en el mercado para los productos finales, la vida de la mina y otros factores.

Habrà necesidad de formar varios proyectos basados en dos o tres leyes cut-off para así obtener y comparar las ganancias obtenidas en cada uno de los casos, y así decidirse por el mejor proyecto.

Sin embargo, todavía falta considerar y decidir sobre el elemento relación desmonte-mineral tolerable, muchos factores intervienen en esta relación, pero en general aquellos factores que tienen influencia en los costos de producción y en la eficiencia de explotación. Se acepta como general ¹ que la relación desmonte - mineral de 3:1 es la relación de separación para explotar un depósito mineral por open pit y por métodos subterráneos, de modo que cuanto más baja sea la relación antes dichas, el depósito será más exi-

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

tosamente explotable por open pit a igualdad de otras condiciones.

Definidas la ley cut-off y la relación desmonte - mineral del depósito, y obtenida toda información topográfica y geológica pertinente, el siguiente paso es el definir los límites finales del pit.

Esto significa simplemente definir los límites horizontales y verticales del pit, sin preocuparse por el momento acerca de los detalles de explotación. Antes de trazar los límites del pit hay que diseñar la inclinación final de las paredes del pit.

La roca dura, relativamente compacta puede soportar una inclinación aproximada de 1/4 á 1, ó sea, alrededor de 65 grados.

Sin embargo, se puede llegar a tener una inclinación de 70 grados como inclinación final en el pit, bajo circunstancias especiales y evitando ingeniosos sistemas para evitar deslizamiento y caída de rocas.

La mayor parte de los pits tienden a tener una inclinación final de 1 á 1; sin embargo, durante el período de explotación, ésta inclinación es siempre más plana.

Decidido el grado de inclinación final del pit, se trazan perfiles en el depósito de mineral de acuerdo con la inclinación antes dicha, a lo largo de secciones regularmente espaciadas. En los perfiles así obtenidas, se trata de extender los límites del pit, apreciándose la cantidad de desmonte que habrá que remover por cada variación en la extensión. En una palabra, el material minado durante el proceso de extensión tiene que ser de tal ley que no solamente pague el costo de explotación del mineral en esa área sino también el costo de extracción del desmonte que se encuentra como sobrecarga del mineral en tal área. Mediante estas consideraciones se llega a definir los límites finales del pit, para lo cual se trazan proyectos preliminares en cada una de las secciones transversales, debiendo también demarcar en ellas las cajas del depósito, dikes, fallas, blocks fallados de mineral ó desmonte, huecos per-

forados, elevaciones, leyes del mineral, etc. Se estudian todas estas características y se define la altura que debe tener los bancos del pit durante el proceso de explotación. Luego se traza el perfil probable del pit en cada sección transversal de acuerdo al ángulo de inclinación estudiado, altura de los bancos y también de acuerdo a la mejor relación desmonte - mineral que se quiera obtener en dicha sección. Teniendo estos perfiles y con el uso del planímetro se obtienen los tonelajes de mineral que probablemente se ha de minar.

Luego se hace necesario hacer proyecciones horizontales entre las distintas secciones a fin de apreciar el distanciamiento de los bancos en las distintas secciones, presencia de curvas agudas entre las secciones, posibilidad de explotar las zonas falladas, cambios bruscos entre los distintos niveles del pit, para ver la posibilidad de trabajar en varios de ellos al mismo tiempo eficientemente; y otros. También deben ser proyectadas las vías de acceso considerando gradientes diferentes a los distintos bancos del pit. Así se reducen las curvas agudas y se arreglan los bancos en las curvas. Generalmente varias proyecciones de las zonas difíciles del pit tienen que ser rediseñadas porque las proyecciones originales serían impracticables.

En el proceso de reajustamiento que empieza en esta etapa, el pit comienza a tomar forma. Después de hacer muchos proyectos combinando diferentes factores, calculando las relaciones desmonte - mineral, respectivas y trazando estos proyectos en juegos de planos diferentes; al final se visualizará un proyecto que presente las mejores ventajas en lo que a relación desmonte - mineral y facilidad de minado se refiere principalmente.

El siguiente paso es llevar toda la información contenida en el proyecto elegido al terreno, basándose en los sistemas de triangulación ya establecidos sobre el área del futuro pit.

El siguiente paso es el de remover la materia estéril que se encuentra como sobrecarga sobre la zona mineralizada y así revelar suficiente mineral **para su tratamiento.**

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Aplicación de los Principios de Mecánica de Suelos.-

El esfuerzo cortante de un suelo es una propiedad bastante compleja y depende mayormente del tipo de suelo. Para suelos constituidos por arena limpia, cascajo y roca fracturada, el esfuerzo de corte depende mayormente de los siguientes factores:

- 1.- Esfuerzo Normal entre las superficies de contacto.
- 2.- Forma de las partículas individuales, no interesa el tamaño real.
- 3.- Densidad o grado de compactación de la masa.
- 4.- Minerales constituyentes de los granos.

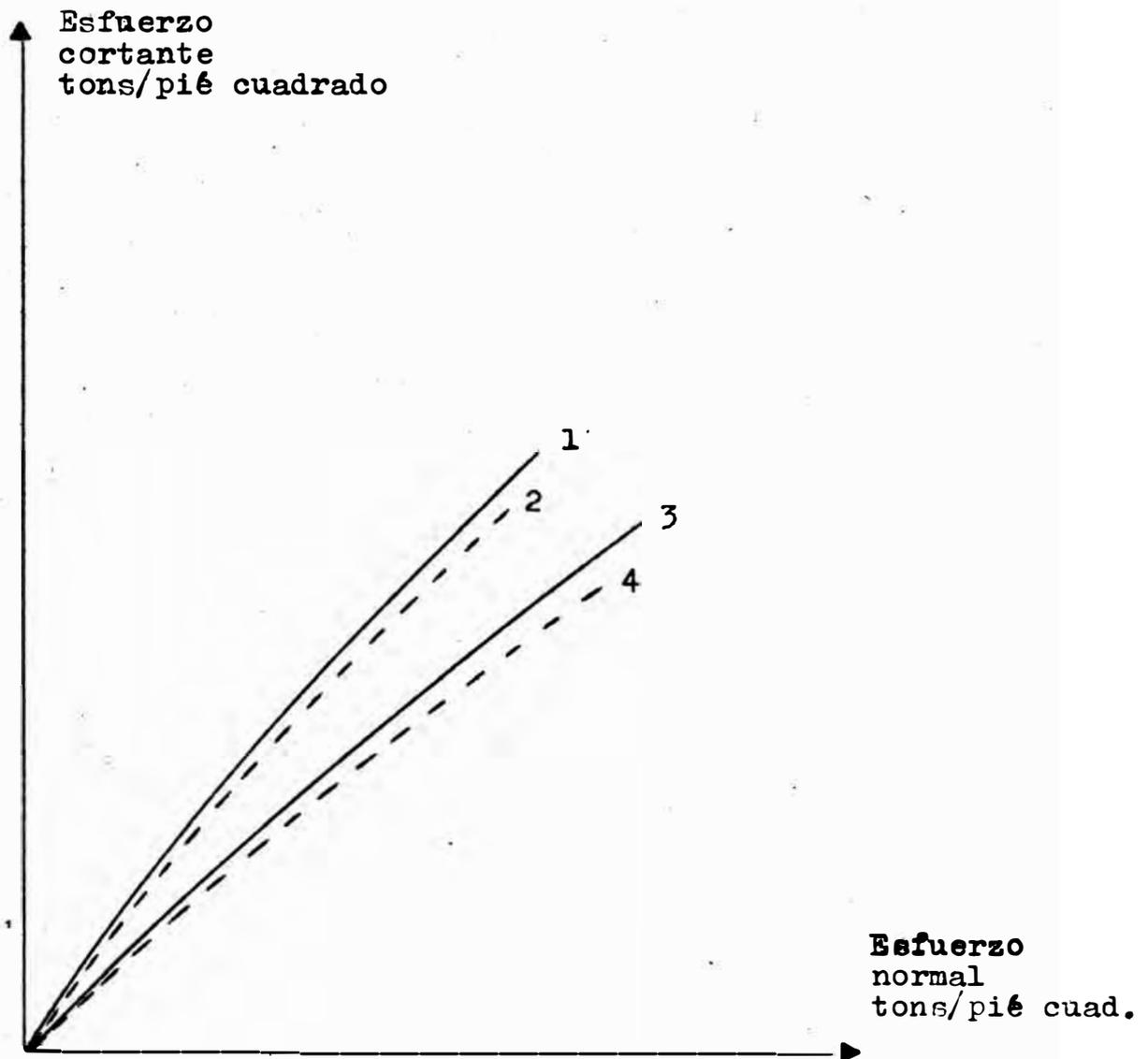
En general, cuanto más compacta sea la masa y mayor la angularidad de los granos, más grande será el esfuerzo de corte de la masa. A igualdad de densidades y granos de formas similares en una roca, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la presión normal existente entre los granos. Por otro lado, el esfuerzo de corte en los suelos de constitución granular es independiente de las dimensiones reales de las partículas constituyentes individuales.

En el gráfico adjunto, se reproduce la curva de los esfuerzos de Mohr para suelos que varían de aquellos constituidos por arena fina a aquellos formados por cascajo grueso, y se puede notar que el esfuerzo de corte en ambos casos es igual siempre que ambos tengan relativamente igual grado de compactación.

Estos principios de Mecánica de Rocas se pueden aplicar para analizar la estabilidad de las vertientes en minas open pit de naturaleza rocosa fracturada, y se ha encontrado de que la estabilidad general de las vertientes del pit es independiente del tamaño de las partículas constituyentes, no importando que ellas tengan varias pulgadas o varias yardas como máxima dimensión.

Se ha encontrado también por investigación en el laboratorio y en el campo que el ángulo de fricción existente entre las partículas corresponde aproximadamente al ángulo de inclinación que deberían tener las vertientes de una ex-

CURVA DE ESFUERZO DE MOHR



- 1.- 3/4" cascajo 10% malla 40 - denso
- 3.- 3/4" cascajo 10% malla 40 - suelto
- 2.- arena uniforme malla 35-65 - denso
- 4.- arena uniforme malla 35-65 - suelto

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

cavación, por ejemplo, un pit, cuyo suelo está constituido por tales partículas. Estos ángulos de inclinación varían de un mínimo de 33 grados, para suelos formados por arena suelta, hasta un máximo de algo más de 45 grados, para suelos formados por roca de naturaleza compacta y fracturada angularmente. Como en tajeros a cielo abierto, la roca no solamente puede ser angular sino también muy compacta, las vertientes con inclinaciones de 45 grados serían bastante estables; sin embargo, variaciones en los esfuerzos reales efectivos pueden hacer inestables vertientes con 30 grados de inclinación. Desde que el esfuerzo de corte depende del esfuerzo efectivo, es obvio que la presencia de esfuerzos neutrales o presiones ascendentes disminuirán el esfuerzo efectivo y el factor de seguridad.

Altura crítica de una Vertiente.-

Consideraremos los siguientes casos según la naturaleza de los suelos:

1.- Para suelos de materiales incoherentes, o granulares.

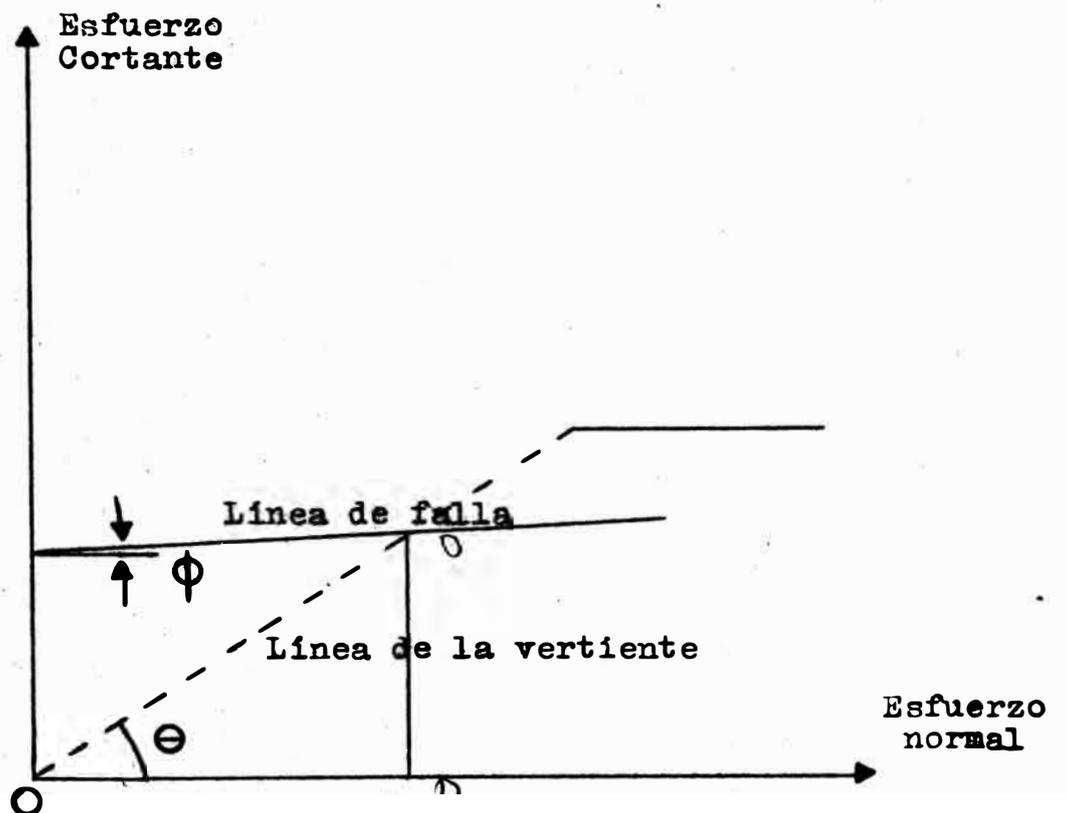
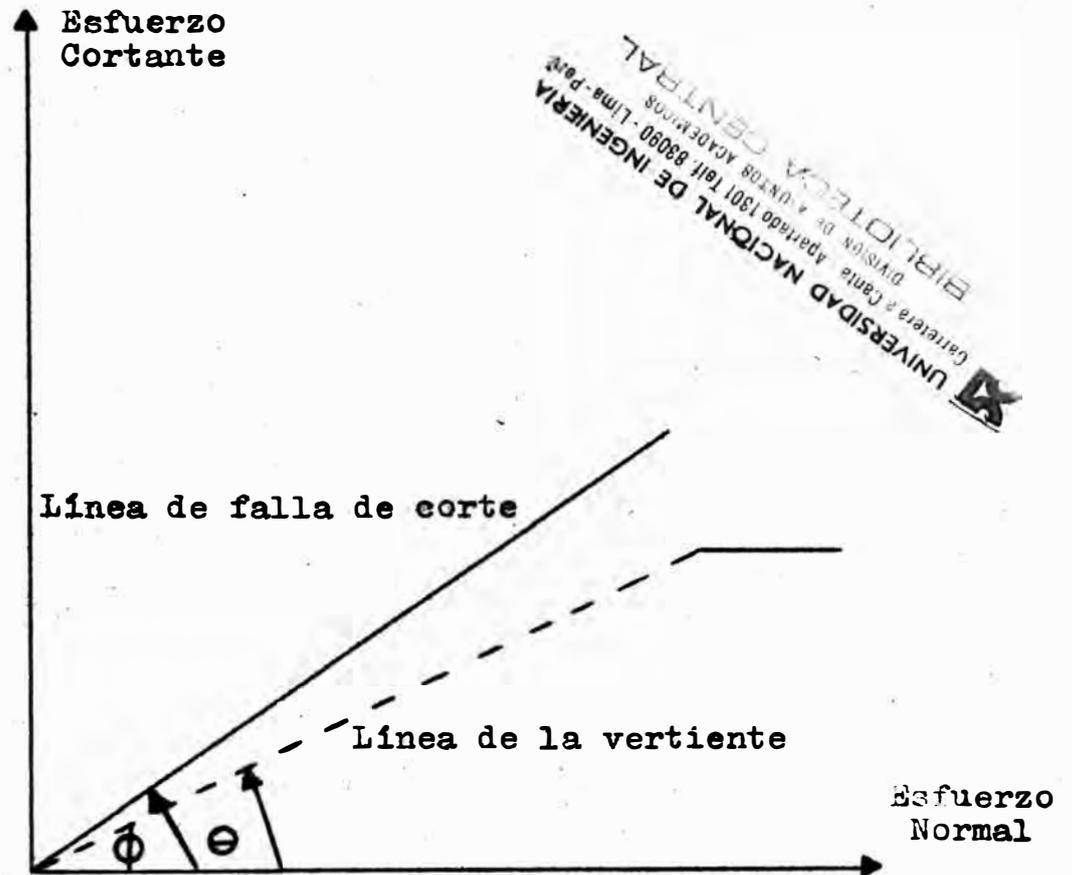
Si el ángulo de fricción interna ϕ es más grande que el ángulo de inclinación de la vertiente, θ , el esfuerzo cortante del suelo a cierta profundidad excede la fuerza cortante; por consiguiente, no ocurrirán fallas por corte. En este caso (ver figura) la relación de esfuerzo a fuerza es constante; el factor de seguridad contra fallas es independiente de la profundidad. Se puede establecer como regla general que las vertientes en suelos no coherentes serán estables independientemente de la altura de estas vertientes, siempre que el ángulo de inclinación no sea más grande que el ángulo de rozamiento o fricción.

2.- Para suelos coherentes.

Las vertientes en suelos coherentes pueden ser estables cuando el ángulo de inclinación es más grande que el ángulo de fricción. Siempre que la fuerza normal sea menor que la dimensión OD (ver figura) el esfuerzo de corte excede la fuerza de corte, y por consiguiente no ocurrirá

RAUL RAO PATRON B.

PROMOCION 1965



RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

ninguna falla.

La fuerza OD es una función directa de la profundidad, la relación de esfuerzo a fuerza disminuye conforme la profundidad aumenta, y así el factor de seguridad disminuye conforme aumenta la altura de la vertiente hasta un valor límite de uno. A la altura de la vertiente en el valor límite se le llama la altura crítica; todas las vertientes de mayor altura son inestables.

Angulo necesario de Inclinación.-

Los ángulos de inclinación en materiales sueltos se llegan a obtener por cálculos y por pruebas en el laboratorio, mientras que en roca dura se fijan empíricamente.

Si deseamos permanecer estrictamente en el lado seguro, tenemos que afrontar el tremendo costo de vertientes casi planas.

Por otro lado si deseamos ahorrar dinero usando vertientes de gran ángulo de inclinación, se corren riesgos peligrosos. Cuanto más profundo es un pit, el aspecto económico que trae consigo la inclinación de las vertientes del pit resulta sobresaliente. Igualmente la seguridad de los hombres y maquinarias se hace cada vez más importante.

Varios métodos han sido desarrollados para determinar la estabilidad de las vertientes en rocas, las cuales no están basadas solamente en la experiencia y trabajos de tanteo, sino también en cálculos matemáticos.

La roca como todo material demuestra tener propiedades físicas que varían de acuerdo a la dirección; la mayor parte de las rocas son mecánicamente anisotrópicas y presentan además discontinuidades tales como fallas geológicas, grandes juntas, zonas fracturadas, etc., y a menudo una considerable no homogeneidad. Por la misma razón que las montañas se levantan asimétricamente y los valles caen asimétricamente, las vertientes de un pit deben ser diseñadas asimétricamente si se quiere dar cierto grado de estabili-

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

dad a cada sección.

Las vertientes no son determinadas solamente por factores geológicos o estructurales, sino también por factores direccionales y de ubicación. Un mapeo geológico superficial es el primer paso, incluyendo juntas, estratificación y líneas de foliación.

Como se mencionó anteriormente, numerosas perforaciones tienen que ser hechas y probadas ópticamente; la inclinación de estas perforaciones, si es posible, tienen que ser orientadas de tal manera que mejor encajen con el sistema general de juntas.

Los factores siguientes determinan la estabilidad de las rocas y los ángulos permisibles de una vertiente:

- 1.- Tipo de roca (esto no tiene gran importancia).
- 2.- Esfuerzos de la roca (esfuerzos de tensión y compresión, y resistencia al corte).
- 3.- Estratificación y Foliación. Ellos son considerados a menudo como líneas de resbalamiento, pero no son más importantes que las otras juntas.
- 4.- Fragmentación mecánica, lo cual causa juntas de variadas dimensiones, fallas y zonas fracturadas. La característica de las rocas varía ampliamente con el espaciamiento de las juntas y con su extensión.
- 5.- Defectos químicos. Ellos son causados por la intemperización, soluciones hidrotermales y destrucción de rocas, y así pueden reducir la estabilidad de las rocas, a tal grado que mecánicamente hablando las rocas se hacen similares a la arena o a la arcilla.
- 6.- Relaciones de posición entre el plano de la vertiente y los elementos estructurales, lo cual sólo tiene relativa importancia.
- 7.- Factor tiempo (el factor de seguridad es más alto para vertientes de mayor duración durante el trabajo).
- 8.- Presencia del agua en cavernas de roca y juntas (aumento de la presión neutral).
- 9.- Vibraciones (voladuras, equipo pesado). Ellas reducen la fricción entre los fragmentos y en consecuencia la

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

fuerza de unión entre los elementos constituyentes de las rocas. Las rocas que se encuentran aflojadas cerca a las áreas donde se efectúan voladuras deben ser interpretadas de una manera diferente de aquellas que no son influenciadas por vibraciones, y algunas veces deben ser estudiadas aplicando mecánica de suelos.

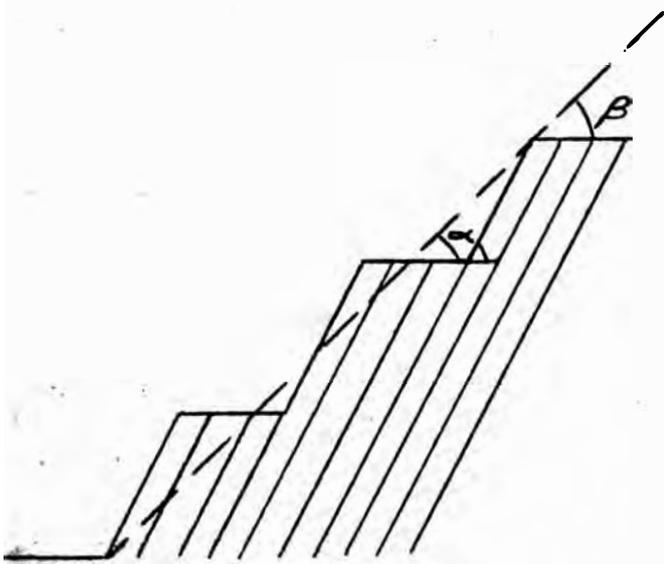
Justamente como sucede en mecánica de suelos, la estabilidad de una vertiente rocosa contra deslizamientos es expresada como el cociente entre las fuerzas de retención y de presión. Para la determinación de ambos es necesario conocer el plano de falla y la resistencia al corte.

Toma considerable experiencia en materia de rocas, determinar el plano de falla o de fractura más probable. Si las líneas de deslizamiento de dimensiones comensurables están presentes (líneas de estratificación, fallas, juntas, etc.), la línea más probable es fácilmente determinada por computaciones comparativas.

No habiendo anisotropismo plano, sino un complicado tipo de uniones, el plano de fractura es muy irregular. Computaciones comparativas del llamado "figuras de resistividad en las uniones" dan a conocer los tipos de fracturas más probables. En algunos casos estas computaciones deben ser verificadas en el lugar por pruebas en gran escala.

Los valores de rozamiento pueden ser estimados por comparaciones con rocas similares, y en casos más importantes también por pruebas en gran escala.

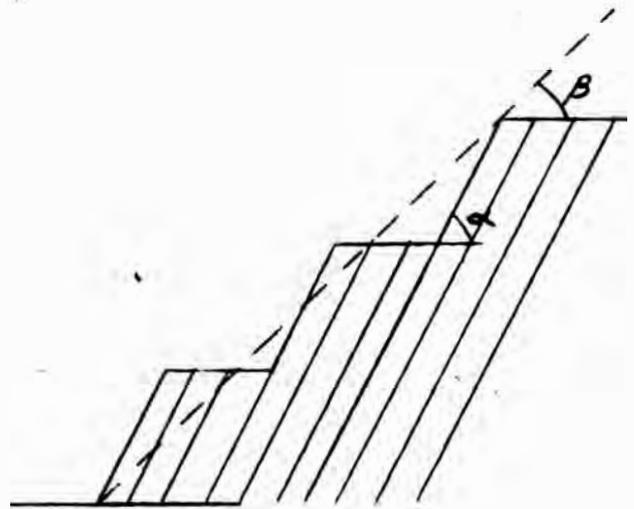
En contraste con vertientes de suelos, las vertientes de rocas pueden ser muy irregulares, aún convexas, dependiendo del sistema de juntas que se hallan presentes. En general las variaciones en las vertientes no significan variaciones en estabilidad. Es solamente en el caso de sistemas muy paradas o de gran inclinación (a y b) que la estabilidad resulta aumentada si la vertiente es de menor inclinación que el sistema de juntas. Teniendo juntas planas, la disminución del ángulo de inclinación no es necesario ni es de ayuda en el aumento de la estabilidad (c).



(a)

$$\alpha > \beta$$

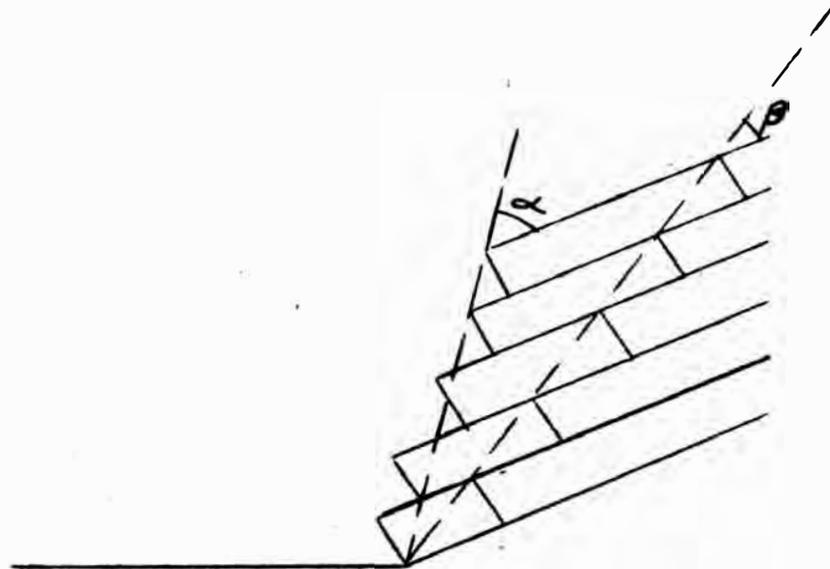
$$S_{\beta} > S_{\alpha}$$



(b)

$$\alpha > \beta$$

$$S_{\beta} > S_{\alpha}$$



(c)

$$\alpha > \beta$$

$$S_{\beta} > S_{\alpha}$$

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Es un error muy corriente creer que los bancos aumentan invariablemente la estabilidad de las vertientes en las rocas.

La estabilidad en general depende del ángulo de inclinación final y de los otros factores previamente mencionados.

Los factores de seguridad para vertientes de larga duración deberían ser más altas, que para vertientes de corta duración.

El cálculo de los ángulos de inclinación permitirán diseñar totalmente la mina open pit y determinar los factores de seguridad para cada caso particular. A pesar de que todos estos métodos científicos son muy caros, ellos nos permitirán ahorrar dinero al reducir la relación desmonte - mineral, pues cuanto más baja sea esta relación los costos de operación serán más bajos.

Los posibles métodos de estabilizar vertientes profundas se basan en anular la presión del exceso de agua porosa bien atrás de las vertientes del pit (presión neutral). El costo es considerablemente alto y en muchos casos prohibitivo. Antes de que se lleve a cabo trabajos de ésta naturaleza, se debe realizar extensa observación en el terreno para asegurarse de que en el método propuesto no solamente es el más económico sino también que dará resultado.

Profundidad Máxima del Pit.-

Asumamos un depósito horizontal de profundidad desconocida (sin límites geológicos ni estructurales), llamando:

A_k = Costo de remover un pié cúbico de roca intemperizada a profundidad límite.

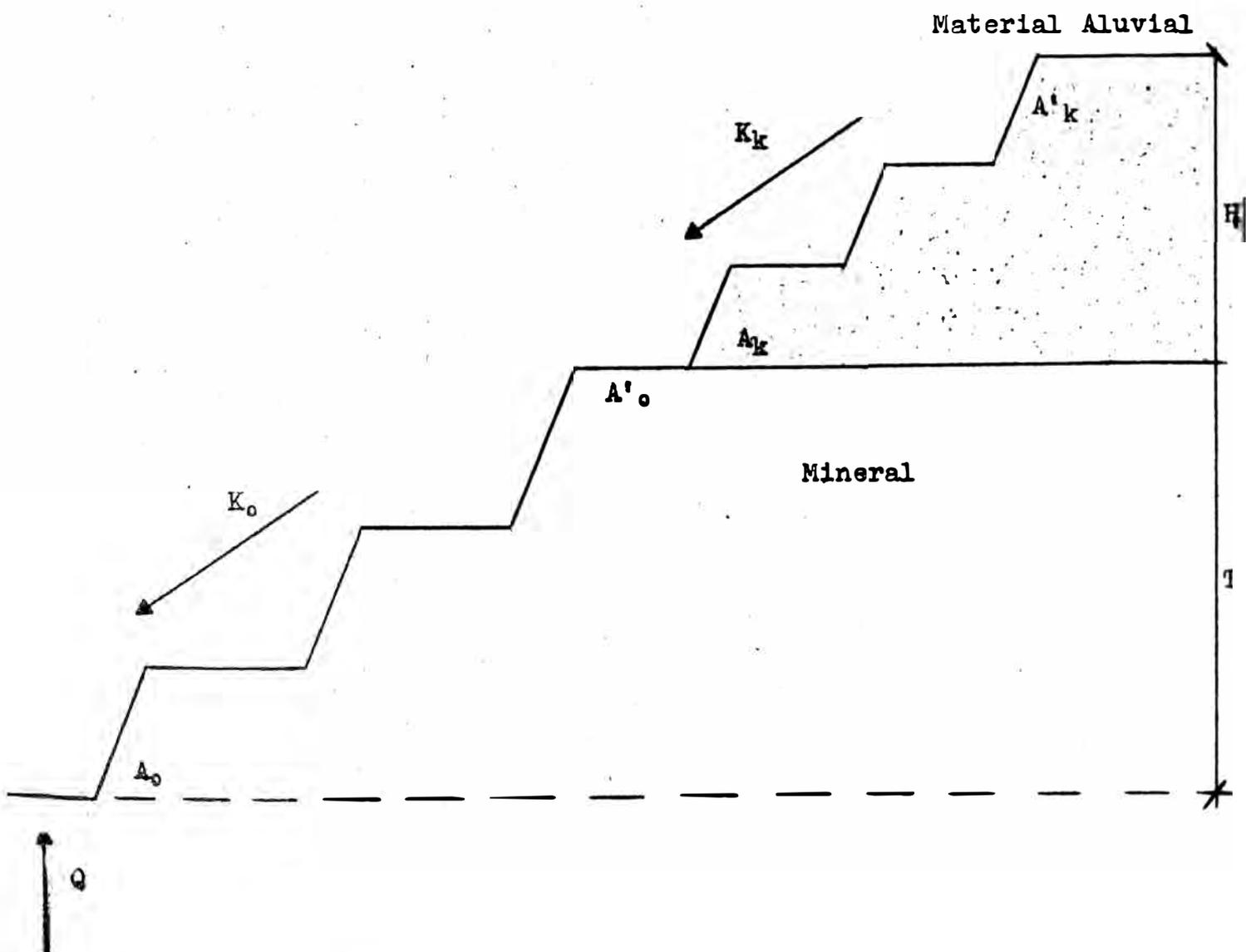
A_k = Costo de remover un pié cúbico de material aluvial de la parte superior del primer banco del pit.

K_k = Coeficiente que indica el aumento en el costo al remover un pié cúbico de desmonte al aumentar la profundidad.

H_1 = Altura de la sobrecarga de desmonte, aluvial y roca

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

SECCION VERTICAL DE UN FIT.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

estéril.

Lógicamente se puede escribir la siguiente fórmula básica:

$$A_k = A'_k + K_k \cdot H_1$$

Ahora llamando:

A_0 = Costo de operación al minar un pié cúbico de mineral a la profundidad límite.

A'_0 = Costo de operación al minar un pié cúbico de mineral de la parte superior del primer banco de mineral.

K_0 - Coeficiente que indica el aumento en el costo de operación al minar un pié cúbico de mineral, al aumentar la profundidad.

T = Altura del pit en el cuerpo mineral hasta la máxima profundidad.

Lógicamente tendremos:

$$A_0 = A'_0 + K_0 \cdot T$$

Si designamos por "Q" el costo de operación al minar un pié cúbico de mineral por un método subterráneo, el minado por open pit será siempre posible mientras se cumpla la siguiente relación:

$$A_0 + \frac{V}{V_0} A_k \leq Q$$

en la cual V/V_0 es la relación de desmonte a mineral (stripping ratio), a este coeficiente se le puede llamar "coeficiente de desarrollo". Resolviendo para V/V_0 , tenemos:

$$\frac{V}{V_0} \leq \frac{Q - A_0}{A_k}$$

el cual significa que para explotar un depósito de mineral por open pit, la relación de la diferencia de los costos de operación por método subterráneo y open pit, al costo de operación de remover el desmonte a la profundidad límite, tiene que ser más grande que la relación desmonte - mineral.

Perforación.-

En poco más de una década, las clásicas herramientas y maquinarias de perforación utilizadas en las explotaciones a cielo abierto como son churndrill y wagondrill, han quedado anticuadas, habiendo tomado su lugar las perforadoras rotary y las perforadoras a percusión dentro del taladro, aunque éstas últimas en menor escala.

El uso de brocas rotary, con aire comprimido como medio para extraer las partículas cortadas se ha extendido ampliamente, reduciendo los costos de perforación y acelerando considerablemente la producción.

Entre otros factores que afectan el rendimiento y la eficiencia de las brocas rotary tenemos:

- 1) Volúmen de aire requerido en la perforación.
- 2) Presión ejercida sobre la roca o formación que se perfora.
- 3) Velocidad de rotación de la broca.

1) Volúmen de aire requerido en la perforación Rotary: Para obtener un buen rendimiento con las brocas rotary, se debe suministrar un volúmen suficiente de aire comprimido a fin de asegurar adecuado enfriamiento y limpieza de los cojinetes y una velocidad anular de elevación (bailing velocity) (V) de por lo menos 3,000 FPM a fin de remover lo más rápidamente posible las partículas cortadas en el fondo del taladro.

La velocidad anular de elevación "V" esta dada por la siguiente fórmula:

$$CFM = \frac{V(D_1^2 - D_2^2)}{183.3}$$

donde:

C.F.M. = Volúmen real de aire suministrado por la compresora.

D_1 = Diámetro del taladro en pulgadas.

D_2 = Diámetro exterior del barreno en pulgadas.

V = Velocidad de elevación F.P.M.

La presión de descarga (presión en la broca) en la mayor parte de las perforadoras rotary, está comprendida entre 30 y 60 P.S.I.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

Las boquillas en los pitones de descarga de los cursos de aire en las brocas deben tener un diámetro apropiado para poder alcanzar la máxima caída de presión, de acuerdo con las especificaciones de la compresora.

Esta caída de presión a través de la broca varía de acuerdo a muchos factores tales como C.F.M., temperatura del aire, pulsación en el sistema de aire, temperatura ambiente, etc.

2) Presión sobre la roca: La perforación rotary resulta más económica cuando se aplica suficiente peso sobre el fondo, para sobrepasar la resistencia a la compresión de la formación que se está perforando. Según pruebas de laboratorio se ha demostrado que éste factor es el más importante tanto para aumentar la velocidad de penetración como para mejorar los rendimientos por broca. Por supuesto que la presión sobre la broca no debe ser tan grande que la broca se hunda, especialmente en formaciones suaves, con lo cual tanto los conductos de aire como los dientes quedarían atascados, impidiendo tanto la limpieza del taladro como de los conos y cojinetes, deteniendo por consiguiente la perforación puesto que la presión de aire sobre la roca empezaría a subir considerablemente.

En general se sabe que se está aplicando una presión adecuada cuando tanto el cable de levantamiento del sistema de rotación, el barrenado y la tambora de levantamiento se mueve uniformemente sin vibrar o saltar, por eso el perforista además de vigilar sus controles, debe vigilar su barrenado, cable y tambora de levantamiento para de acuerdo a ello variar su presión sobre el fondo.

3) Velocidad de rotación de la broca: La experiencia ha demostrado que perforando entre 30 y 100 R.P.M. se obtiene adecuadas velocidades de penetración y máximo rendimiento por broca aunque, perforar bien, es en realidad un arte y hay una gran diferencia entre un buen perforista y otro en penetración, gasto de broca y barrenado, etc.

Nadie puede decir exactamente que en éste terreno se perforará con tantas revoluciones (R.P.M.) ó con tal presión, pues cualquier perforista sabe que el terreno cambia apreciablemen-

te no sólo de un taladro para otro, sino de un metro a otro en un mismo taladro de tal manera que el perforista debe usar su criterio y su experiencia para determinar las revoluciones y la presión que aplicaría en una formación dada.

Hay algunas reglas que pueden ayudar a perfeccionar ese criterio y ellas son:

1.- A mayor dureza de la roca, utilizar mayor presión hacia abajo y disminuir la velocidad de rotación; esto se hace por que solo con mayor presión aplicada en el fondo podemos vencer la resistencia a la compresión de la roca que se perfora, pues de otra manera la broca estaría dando vueltas sobre la roca sin penetrarla, se disminuyen las revoluciones pues al aumentar la presión rompemos más cantidad de roca y como la presión de aire sobre la roca no puede ser aumentada (30 á 35 P.S.I.) para sacar las partículas cortadas, entonces disminuimos las revoluciones pues en caso contrario las partículas cortadas no podrían ser expelidas fuera del taladro lo suficientemente rápido y volverían al fondo desgastando innecesariamente el barreno, el estabilizador y la broca.

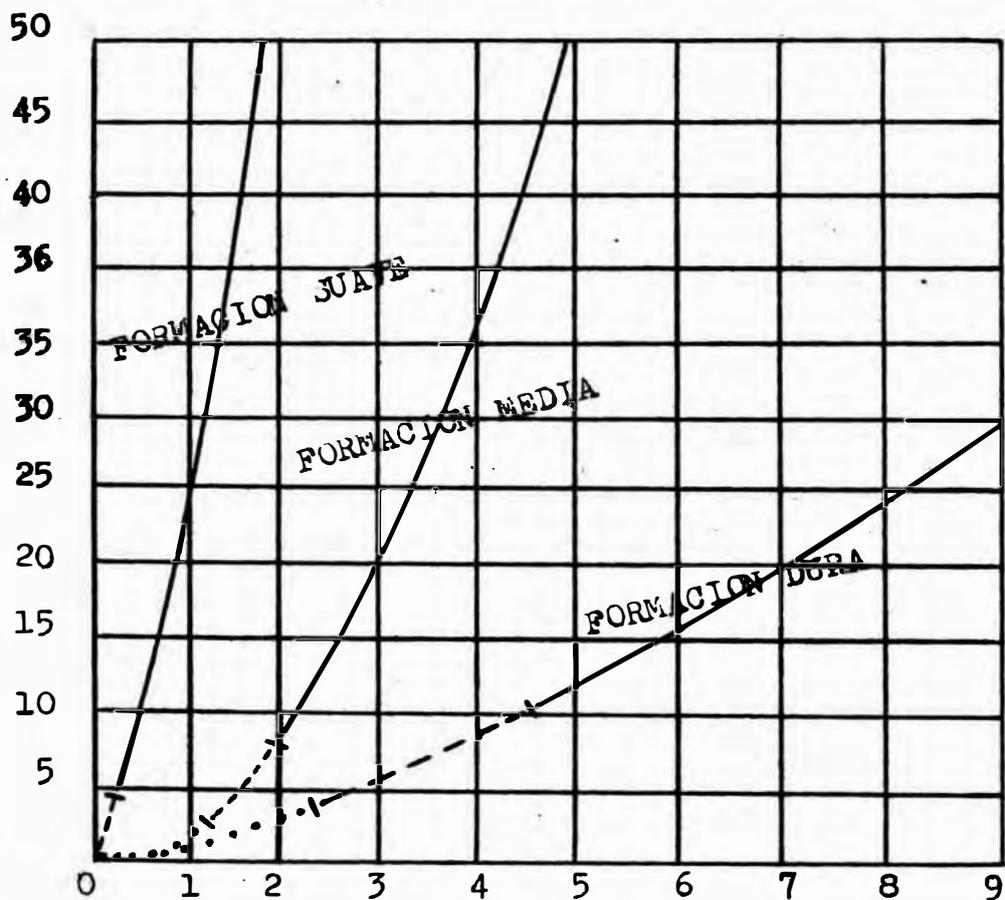
2.- A menos dureza de la roca, utilizar menor presión hacia abajo y aumentar la velocidad de rotación; se disminuye la presión hacia abajo para evitar que tanto los dientes de la broca como los conos y los conductos de aire quedan completamente tapados y hundidos en el terreno pues en caso contrario estaríamos excediendo la resistencia a la compresión de la roca.

En suma se puede decir que para obtener la máxima eficiencia en perforación, medida en costo por metro, debemos balancear volúmen de aire, presión sobre el fondo y revoluciones por minuto para cada una de las formaciones que se perforan y por medio de estudios y observaciones llegar a las condiciones óptimas de trabajo.

En el cuadro adjunto se puede observar claramente la influencia de la presión sobre el fondo con respecto a la velocidad de penetración en las diferentes formaciones.

CUADRO DE PENETRABILIDAD IDEALIZADA

PARA DIFERENTES FORMACIONES



Peso sobre la broca, 1,000 Lbs./In. de diámetro.

..... = Fase de abrasión.

----- = Fase de fatiga.

————— = Fase de rotura de la roca.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Como Seleccionar una Broca: Las brocas rotary estan suministradas en una gran variedad de tamaños y tipos. La selección de la broca más apropiada para perforar en un tipo específico de formación, es de la mayor importancia.

El espaciamiento de los dientes en cada fila y su distribución en cada cono han sido cuidadosamente estudiados por los fabricantes para que las brocas puedan rendir el máximo de metros perforados y en el menor tiempo posible es decir con la mayor velocidad de penetración. Al mismo tiempo se ha estudiado la forma, los materiales más convenientes y la posición y dirección de los conductos de aire para asegurar una buena limpieza y enfriamiento de conos y cojinetes así como para remover las partículas cortadas.

Las brocas se fabrican para perforar en cuatro grandes grupos de formaciones:

- a.- Formaciones suaves
- b.- Formaciones medias
- c.- Formaciones duras
- d.- Formaciones extremadamente duras y abrasivas.

a.- Las brocas para perforar en formaciones suaves estan caracterizadas por tener un número reducido de dientes y de una gran longitud, aquí el separamiento entre los conos es máxima.

Estas características de diseño permiten una gran acción de desgarramiento lo cual resulta en una gran velocidad de perforación para estas formaciones suaves.

b.- Las brocas para perforar en formaciones medias tienen características comprendidas entre los dos primeros grupos.

c.- Las brocas para perforar en formaciones duras tienen muchos dientes, de tamaño corto y extra fuertes, el desplazamiento entre conos es mínimo. Estas características permiten una verdadera acción de rodado y chancado de los conos sobre la roca que se perfora.

d.- Para perforar en formaciones extremadamente duras y abrasivas tenemos una brocas especiales, las cuales tienen unos **sertos** cónicos de carburo de tungsteno colocados a presión **construidos** con aceros de altísima cali-

dad.

Hablando de una manera generalizada se dice que: Si se desea un aumento en la velocidad de penetración, entonces se debe seleccionar una broca con un número menor de dientes y si se quiere un aumento en metros por broca, entonces se selecciona una broca con más dientes.

En terrenos muy duros también es posible perforar por percusión dentro del taladro, en este sistema la rotación es suministrada independientemente de la perforación propiamente dicha. Un motor ya eléctrico o de aire dá movimiento al barrenos y a la perforadora y el aire que hace funcionar al martillo dentro del taladro pasa por los barrenos los cuales son huecos por dentro.

En general éstas perforadoras dentro del taladro son más lentas que las rotary, bajo igualdad de condiciones, es decir perforando en la misma formación.

En las perforadoras DHD tanto el cilindro exterior, como el chuck y el back-head están expuestos a severas abrasiones y éstas partes pueden ser renovadas a bajo costo.

Las brocas que se usan en la perforación DHD son marca IR del tipo Carset. Estas brocas son especiales para trabajos pesados y tienen cuatro insertos de carburo de Tungsteno con diseño X, además poseen 5 orificios para el pasaje de aire lo cual garantiza un adecuado enfriamiento y limpieza de la broca y al mismo tiempo una rápida limpieza de las partículas cortadas en el fondo.

El aguzamiento adecuado de las brocas carset es el más importante factor para obtener máxima vida de las brocas y mínimo costo por broca.

La perforación secundaria se realiza generalmente con perforadoras Air Trac tipo Wagon drill debido a su alta velocidad de perforación y bajo costo de mantenimiento.

RAUL RZO PATRON B.

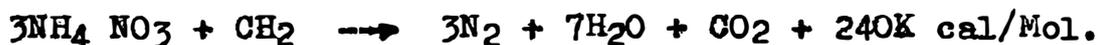
PROMOCION 1965

Voladura.-Explosivos utilizados:

A.- Nitrato de Amonio: El nitrato de amonio cuya fórmula es NH_4NO_3 , es en realidad un fertilizante y no está clasificado como un explosivo ni para su transporte ni para almacenamiento.

El N-A, es un sólido cristalino, blanco, muy oxidante, altamente soluble en agua, cuya densidad es = 0.8 gr./cc., en su forma granulada es bastante poroso lo cual permite una fácil absorción del petróleo y finalmente es muy higroscópico.

Cuando el N-A se mezcla con 6% de petróleo, en peso, entonces se convierte en un agente explosivo y en la reacción de detonación el oxígeno suministrado por el N-A, en cuanto éste se descompone a elevadas temperaturas, reacciona con cualquier combustible presente y el calor de reacción suministrado por el primer es multiplicado por la oxidación instantánea del combustible según puede verse en la siguiente reacción:



Sensibilidad del N-A-: Sensibilidad es la facilidad con la cual un explosivo puede ser detonado; los factores que afectan la sensibilidad del N-A son:

1) Porcentaje de humedad; éste factor afecta grandemente la eficiencia del ANFO como explosivo puesto que parte del calor liberado por la reacción exotérmica vista anteriormente es absorbido para vaporizar el agua, disminuyendo la cantidad de calor que debe estar presente para mantener la detonación. Se ha encontrado que un 10% de agua es el punto al cual ya no se produce detonación del ANFO; el máximo porcentaje de humedad al cual se puede hacer una detonación eficiente del ANFO es 4% H_2O sobre esta concentración la sensibilidad desciende muy rápidamente.

En caso de taladros llenos de agua ó se utiliza otro explosivo insoluble ó se sopla el agua del taladro, disparando con cartuchos de dinamita dentro del taladro ó se rellena el ANFO en bolsas de plástico aunque esta práctica no es muy recomen-

dable ya que las bolsas flotan sobre el agua o si se les pone piedras bajan muy lentamente y hay el peligro de que se rompan.

2) Porcentaje de petróleo: El % de petróleo y el tiempo de absorción son dos factores que también afectan la sensibilidad. Una mezcla estequiométricamente balanceada contendrá 94.4 - 5.6% NA y FO, aunque en la práctica se mezcla 1 Gal. para 100 lbs. NA, lo cual es un poco en exceso de 6% y que garantiza por pérdidas debidas a la absorción de las bolsas.

Una mezcla a mano, durante unos cinco minutos y un período de absorción de 24 horas permitirán una total absorción del petróleo y en estas condiciones tendremos máxima velocidad de detonación y ausencia de humos nitrosos al realizar la detonación.

3) Tamaño de los gránulos y densidad: Estos factores dependen de los fabricantes. Gránulos livianos y porosos requieren menos tiempo para obtener absorción y por consiguiente son más sensitivos y si los gránulos son pequeños entonces se puede tener un mejor confinamiento ó sea más libras por pie de taladro. Sin embargo mientras más finas son las partículas de AN mayor posibilidad hay de que el AN se solidifique por absorción de humedad.

4) El recubrimiento de las partículas: Los gránulos de AN, están generalmente recubiertos de una sustancia inerte tal como tierra de diatomeas, la cual previene que el AN se endurezca. Este recubrimiento en realidad disminuye el poder higroscópico del AN y por otro lado disminuye su sensibilidad.

5) Diámetro del taladro: En general se puede decir que una disminución en el diámetro del taladro, ocasiona una disminución de la sensibilidad.

6) Densidad de la carga: Un aumento de la densidad de la mezcla de ANFO, disminuye la sensibilidad y cuando la densidad pasa de 0.95, la sensibilidad rápidamente disminuye.

- Hydromex: El hydromex es una mezcla de AN/TNT/H₂O en la proporción 65/20/15 su densidad es de 1.40 y su velocidad de detonación alcanza hasta 19,700 F.P.S. en comparación con

PROMOCION 1965

13,800 F.P.S. que es a la velocidad que detona el ANFO (bajo óptimas condiciones). Algunos fabricantes emplean también NaNO_3 , nitrato de sodio (SN), junto con el AN, TNT y H_2O en la proporción SN/AN/TNT/ H_2O , de 20/45/20/15 con lo cual éste explosivo pastoso adquiere mayor velocidad de detonación.

El Hydromex prácticamente es insoluble en agua y puede permanecer dentro de un taladro húmedo por espacio de 1 á 2 semanas sin perder ni su sensibilidad ni su velocidad de detonación.

C.- Slurries Metálicos: En estos tiempos de rápidos cambios tecnológicos se está operando una nueva revolución en el campo de los explosivos y actualmente tenemos toda una familia de explosivos conteniendo cantidades variables de TNT + Al, y otros que sólo tienen AN-Al- H_2O .

En general se debe evitar el uso de explosivos de alta densidad y velocidad de detonación para un tipo de roca donde un explosivo de menor densidad y menor velocidad de detonación puede realizar el trabajo más eficiente.

La reducción de ruido, vibraciones, rocas arrojadas al aire y una buena fragmentación, son simplemente el resultado de un disparo bien diseñado, bien perforado y adecuadamente cargado, donde el explosivo ha sido bien confinado y donde el primer ha sido ubicado de tal manera que el explosivo pueda utilizar toda su energía para romper la roca; es decir que el primer debe ser colocado en el punto de máximo confinamiento, salvo condiciones especiales, tales como capas de terreno suave.

El explosivo metálico (Metallic Slurry) que tiene mayor potencia relativa; 2.4, (considerando ANFO = 1) es AN/ H_2O /Al su densidad es 1.48, su velocidad de detonación es 21,000 F.P.S. y su precio varía entre \$ 16 y 28 por 100 libras.

D.- Primera (Iniciadoras): El explosivo utilizado es llamado comercialmente HDP, está compuesto por PETN y desarrolla una alta velocidad de detonación 24,000 F.P.S.; su densidad es 1.6 es altamente resistente al agua y puede ser iniciado con una vuelta de primacord, viene en cajas de 48 primera de

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

1 libra cada uno.

Las propiedades anotadas permiten a éste "Primer" desarrollar una alta presión y por consiguiente alta temperatura para ocasionar la casi instantánea descomposición del AN.

$$P = \text{Presión desarrollada por el HDP} = \frac{DV^2}{4 \times 10^6}$$

D = Densidad

V = Velocidad

P = Kilobars.

$$P = \frac{1.6 \times (24,000)^2}{4 \times 10^6} = 230 \text{ kiloatmósferas}$$

E.- Primacord (Guía detonante): El primacord es un cordón explosivo cuyo objetivo principal es el iniciar los explosivos utilizados; está compuesto de un núcleo explosivo de PETN y un forro protector. Este primacord no puede ser iniciado con un fósforo, para iniciarlo se requiere una cápsula # 6 y luego detona con una velocidad de 21,000 F.P.S.

La humedad casi no lo afecta, y si el primacord es de un mínimo de 45 grain, la detonación se propagará en los tramos rectos, aunque este húmedo.

Cálculo de Explosivos: Para realizar el cálculo primeramente se determina el volúmen m^3 por taladro a partir del sketch y luego ese volúmen lo multiplicamos por Sp.G. y el factor de explosivos; así si tenemos un trazo de 7 x 5 x 12 en caliza y cuya gravedad específica es 2.7:

$$\text{Vol} = 7 \times 5 \times 12 = 420 \text{ m}^3$$

$$\text{Ton.} = 420 \times 2.7 = 1,134 \text{ Ton.}$$

$$\# \text{ ANFO} = 1,134 \times 0.3 = 350 \text{ lbs./taladro.}$$

$$\text{Altura de carga} = \frac{350 \text{ lbs./taladro}}{45 \text{ lbs/mt.}} = 7.9 \text{ mts./taladro}$$

Altura de atacado = 12 m - 7.9 mts. = 4.1 mts. debe tenerse presente que para el cálculo de explosivos sólo se considera la altura del banco y no el subdrilling el cual es igual al 10%.

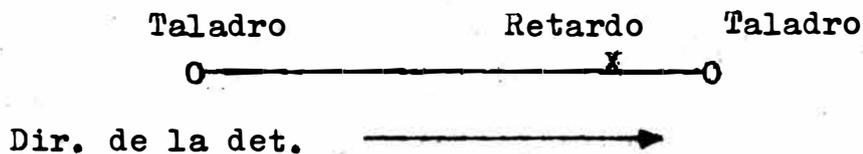
RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Carga de los Explosivos:

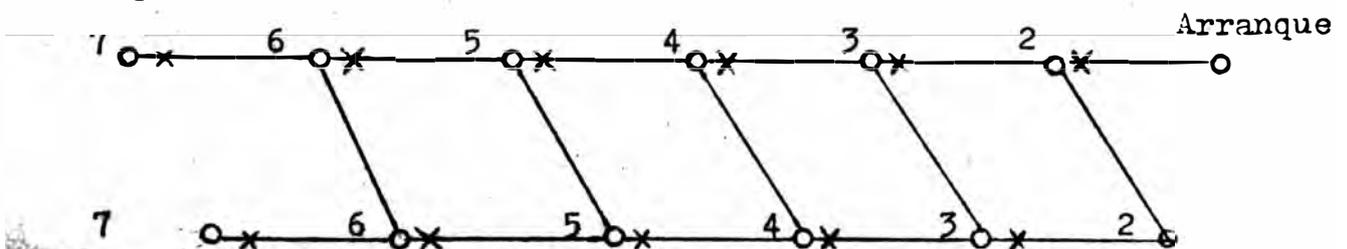
Supongamos que se va cargar el taladro que se ha calculado.- Se echa 50 lbs. de ANFO luego se pasa dos HDP-1 por la guía de primacord, y se baja uno de los primers hasta el fondo, luego se agrega 150 lbs. de ANFO y se pasa una 2da. línea de primacord por el 2do. primer, el cual se baja dentro del taladro y finalmente se echan las otras 150 lbs. de ANFO, después de lo cual se mide el collar y debe de dar 4 metros los cuales se ataca con las partículas que han salido de la perforación. Se ha comprobado que un buen atacado incrementa el grado de confinamiento de la carga y fuerza al explosivo a trabajar en el material que está entre el hueco y la cara libre. El geiser que se produce durante el disparo no necesariamente denota ineficiencia en el atacado si es que el geiser se produce después que la mayor parte del disparo ha salido.

Cuando se dispara más de una fila, entonces se utilizan retardos, los cuales establecen una diferencia de tiempo entre la explosión de los diferentes taladros con el objeto de tener una mejor fragmentación y de disminuir la frecuencia de las ondas de compresión; los relays tienen una construcción simétrica por ello pueden ser colocados en cualquier dirección. Su carga es similar a la de los fulminantes y por ello deben ser colocados momentos antes del disparo, y deben ser colocados un poco hacia atrás en la dirección de la detonación.

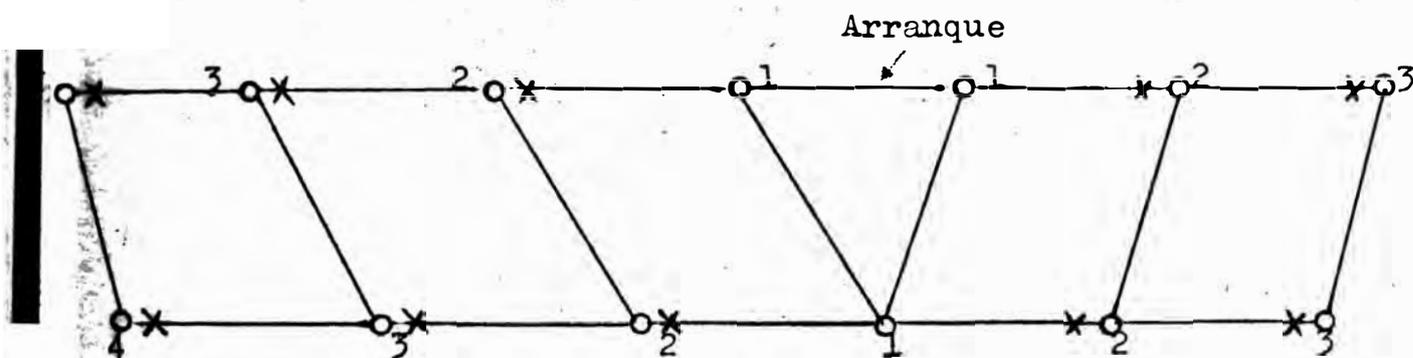
Conexiones:

a) En echelón; éste tipo de disparo disminuye grandemente la frecuencia de las ondas de compresión.

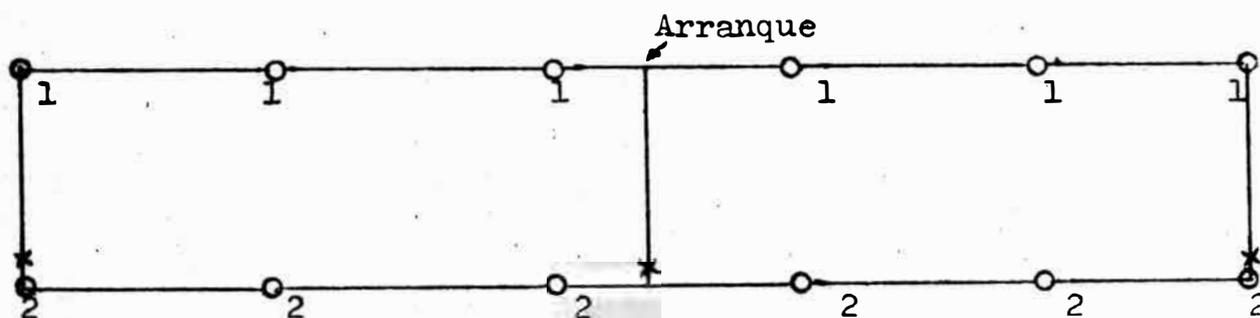
Los números indican la secuencia del disparo y las espas la posición de los retardos.



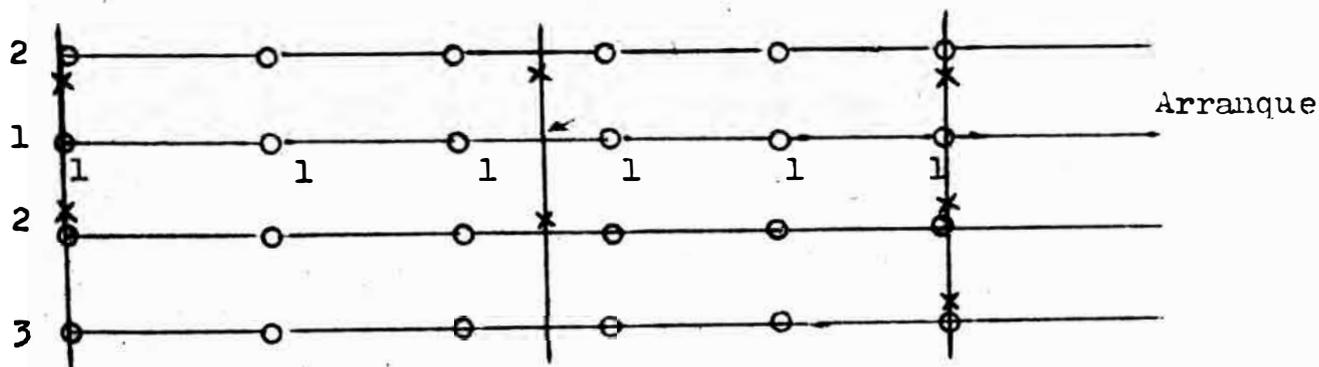
- b) En cuña éste tipo de disparo tiene casi la misma ventaja que el anterior, siendo la única desventaja que el arranque arroja rocas muy fuertemente hacia adelante.



- c) En escuadra



- d) De rampa



Este tipo de disparo arroja rocas fuertemente hacia arriba.

La Teoría de Livingstone: Las variables fundamentales que ejercen una influencia predominante sobre el resultado de un disparo son:

- 1- Los Explosivos
- 2- La geometría del disparo
- 3- El tipo de material (roca)

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

El comportamiento de los materiales depende de ambos, la geometría del disparo y el explosivo. Las tres variables dependientes 1, 2 y 3, expresan una relación fundamental entre:

- A- La energía
- B- La masa
- C- El tiempo

El Efecto del Tipo de Material:

La energía transferida a la roca es disipada en varias formas:

- 1- Parte es consumida como vibración y ondas que viajan a lo largo de la superficie ó hacia el interior de la tierra.
- 2- Parte es consumida para elevar la temperatura del material que rodea el hueco producido por la explosión.
- 3- Parte es utilizada para deformar el material sin pérdida de cohesión.
- 4- Parte es utilizada para fracturar y mover el material.
- 5- Parte es consumida dentro del material y aprovechada para reducir el tamaño de las partículas.
- 6- Parte es utilizada para acelerar las rocas que salen disparadas al aire.

La proporción de energía disipada en cada uno de los 6 puntos mencionados, no es constante porque la energía requerida para un fenómeno dado no estará disponible, para el otro fenómeno.

El comportamiento del material está determinado por una relación entre la energía-masa-tiempo, y no por las propiedades físicas del material, tales como: resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y resistencia al corte.

El Proceso de Fragmentación: El comportamiento de materiales sujetos a cargas dinámicas puede ser clasificado así mismo en por lo menos tres tipos diferentes, dependiendo de las propiedades físicas del material y de la escala geométrica del experimento. Estos tres tipos son:

- 1- Impacto.
- 2- Corte.
- 3- Amortiguación viscosa.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

En cada tipo de fallamiento la perturbación sale desde el taladro disparado hacia fuera. Si la perturbación viaja a una velocidad mayor que la velocidad a la cual el sonido a travez del material, entonces dicha perturbación es conocida como una honda de compresión e impacto.

Los tres tipos de comportamiento de materiales sujeto a cargas dinámicas son:

Comportamiento Tipo Impacto: Este comportamiento es característico de materiales friables y es el resultado de la reflexión de la onda de impacto, desde la cara libre.

El fracturamiento empieza en la cara libre y progresa en una serie de etapas regresando hacia el lugar de la explosión.

La energía avanza alejándose de la explosión y forma una zona de concentración de energía. La pared del taladro se deforma, es desplazada hacia afuera y el material falla por corte.

Comportamiento Tipo Corte: Es característico de sólidos que actúan como materiales plásticos y es el resultado de la expansión del taladro disparado, por compactación y deformación plástica. Cuando el taladro disparado se expande, el material es desplazado hacia la cara libre. Este desplazamiento hacia fuera está acompañado por el hinchamiento y estiramiento de la cara libre y por fallamiento de corte, el cual empieza en el taladro disparado y progresa hacia afuera en el material.

Comportamiento Tipo Amortiguación Viscosa: Este comportamiento es característico de sólidos permeables y porosos y es debido en parte al aire almacenado en las cavidades. La onda de impacto que pasa a travez de un sólido muy poroso es rápidamente amortiguada.

Materiales Típicos:

<u>Impacto</u>	<u>Corte</u>	<u>Amort. viscosa</u>
Granito	Arcilla	Nieve
Taconita	Tufos volcánicos	Carbón seco
Chert	Hielo	Arena seca y porosa
Mineral duro	Minerales suaves	
Pirita	Tierra congelada	

Seguridad.-

Un programa de seguridad no es un libro, ó una serie de libros en los cuales se establecen normas a seguir; ésto por supuesto es parte importante ya que se ha encontrado por experiencia que un método muy efectivo de enseñar a trabajar con seguridad y eficiencia es por medio de un manual o conjunto de instrucciones explicadas con detalle sobre la forma más segura de trabajar.

Además de esto es necesaria la presencia de un equipo bien organizado en el cual intervienen un conjunto de técnicos especializados que además de conocer métodos y equipos, conocen al personal bajo su mando, sus hábitos, actitudes, posibilidades y defectos, etc.

De tal manera que en primer lugar debemos ver como organizamos los Comités de Seguridad para la prevención de accidentes en el trabajo y finalmente estableceremos cuales son sus atribuciones y deberes.

a) En realidad los comités de seguridad serán a dos niveles, uno al nivel de Ejecutivo y otro al nivel de Jefe de Guardia y Supervisores, para así incluir a todo el personal desde el más alto ejecutivo hasta el nuevo trabajador puesto que los trabajadores seguros y eficientes no nacen, se hacen. Cuadro para la organización del comité de Seguridad para la prevención de accidentes en cielo Abierto, al nivel de ejecutivos.

Presidente

Superintendente

1er. Vice-Presidente
Capt. Gral del Tajo

Asistente del Capitán
Gral. del Tajo.

Jefes de Guardia

Ing^o. e Segu-
ridad del Ta-
jo y del Ga-
ra'e.

2do. Vice-Presidente
Jefe Mec. del Tajo

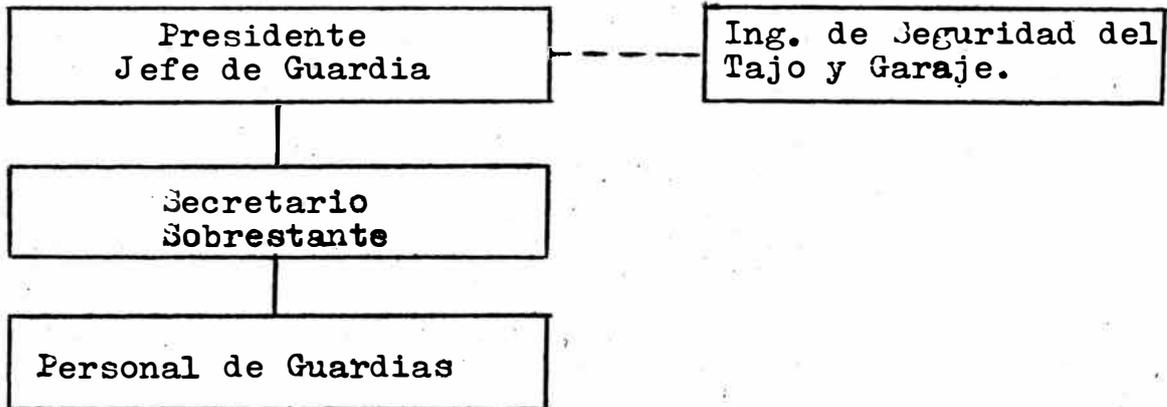
Asist. del Jefe de
Mec. de Tajo

Supervisores.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Cuadro para la organización de los comités de seguridad al nivel de supervisión, uno para cada guardia.



Estos comités de seguridad sesionarán por lo menos una vez al mes y el comité al nivel de supervisión lo hará a media noche, durante la 1/2 hora de descanso.

El presidente será el Superintendente, quien estará secundado por el Capitán General del Tajo, el Jefe del Taller de Mecánica y por el Ing^o de Seguridad quien al mismo tiempo actuará como secretario y cuyos deberes serían preparar la agenda, llevar un acta y proveer los materiales necesarios para realizar las sesiones.

- b) Las responsabilidades específicas y las actividades de este comité serán:
- 1^a La principal función será discutir y prevenir actos y condiciones inseguras y recomendar correcciones prácticas y efectivas a fin de inducir a que cada trabajador durante su jornada de trabajo considere cada acto que realiza a la luz de si es ó no seguro.
 - 2^a Redactar el reglamento de seguridad del cielo Abierto.
 - 3^a Crear y mantener el interés para reducir frecuencia y severidad de accidentes.
 - 4^a Revisar y resolver los reportes presentados por el inspector de seguridad.
 - 5^a Revisar los reportes de accidentes presentados por los Jefes de Guardia o supervisores, realizar una investigación

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

para encontrar las causas y dictaminar las acciones correctivas para prevenir accidentes similares en el futuro.

6^a Revisión de las nuevas instalaciones, equipos y cambios de procedimientos o procesos, desde el punto de vista de la seguridad.

7^a Promover un efectivo concurso de sugerencias y estudiar y dictaminar lo conveniente acerca de dichas sugerencias.

c) Inspector de Seguridad: El Ing^o de Seguridad del Cielo Abierto y del Garaje, será el inspector de seguridad y realizará inspecciones diarias, presentando un reporte semanal de su inspección en todas las estructuras, depósitos, polvorines, máquinas, herramientas, procedimientos, procesos, extinguidores, equipos de primeros auxilios, etc. Dicho reporte será entregado al presidente del comité de Seguridad del cielo abierto.

Las actividades específicas y responsabilidades del Inspector de Seguridad son como sigue:

1^a Reportar oralmente al Capitán General del Tajo, sobre actos y condiciones inseguras encontradas durante su inspección realizada diariamente (2 á 3 horas por día).

2^a Después de completar cada inspección semanal, preparar un reporte de lo encontrado, incluyendo las recomendaciones necesarias para corregir cualquier acto ó condición insegura o cualquier riesgo físico ó mecánico.

3^a Investigar las causas de todo accidente con pérdida de tiempo e indicar las medidas para prevenir su repetición.

4^a Preparar un sumario mensual y anual mostrando tipos, causas frecuencias y severidad de accidentes en el cielo abierto.

5^a Actuar como coordinador en todo programa de seguridad.

6^a Llevar record de:

a) Pérdida de tiempo de hombres y equipo.

b) Interferencia con operaciones, equipo en buenas condiciones que tiene que parar.

c) Daño al equipo y costos de reparación.

d) Costos por pérdida de tiempo y curación.

7^a Asegurarse de que cada nuevo trabajador se familiarize con las reglas de seguridad que se aplica en la Compañía y a su

nuevo trabajo en particular.

- 8^a Después de dos semanas de trabajo, tomar exámenes sobre reglas de seguridad a los nuevos trabajadores.
- 9^a Pasar películas sobre prácticas de seguridad con la mayor frecuencia posible, pues su valor instructivo es mayor que cualquier otro medio.
- 10^a Empezar un curso sobre primeros auxilios para foreman, sobrestantes y asistentes.

Jefes de Guardia y Supervisores: Queda establecido que todos los jefes de guardia y supervisores son responsables por el mantenimiento de condiciones seguras dentro del área de su trabajo y por el trabajo seguro de todos los hombres que están bajo su mando.

Las responsabilidades específicas para prevenir accidentes por parte de los supervisores son:

- 1) Inmediata investigación de cada accidente ya sea de personal o de equipo y llenar el reporte de accidentes; el original de este reporte irá al secretario del comité de seguridad.
- 2) Realizar una inmediata acción correctiva, si esta autorizada para hacerla ó en caso contrario incluir una recomendación en su reporte de accidentes.
- 3) Realizar una inspección diaria del equipo y de la zona de trabajo con respecto a condiciones y actos inseguros, después de lo cual ordenará la apropiada acción correctiva.
- 4) Instruir a cada trabajador para que pueda realizar su trabajo con toda seguridad.
- 5) Obligar a que todo trabajador bajo su mando reporte los accidentes ya sean leves o graves, inmediatamente después de su ocurrencia.
- 6) Mantenerse en contacto con sus trabajadores para poder determinar su actitud y su capacidad para realizar su trabajo con toda seguridad, tanto con respecto a ellos mismos como para con sus compañeros.
- 7) Mantener constante vigilancia sobre la forma como operan sus choferes dentro de las zonas de trabajo.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

- 8) Cada Jefe de guardia tendrá su comité al nivel de supervisión con sesiones semanales y en las cuales se entrenará al personal sobre prácticas de seguridad. Teniendo presente que los trabajadores seguros y eficientes no nacen, se hacen. El sobrestante será el secretario y la agenda será preparada por el Ing^o. de Seguridad.
- 9) Es también obligación de los Jefes de Guardia instruir y guiar con especial interés a los nuevos trabajadores.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO IVASPECTOS TECNICOS Y ECONOMICOS DEL TRANSPORTE DE FINOS DE
MINERAL DE FIERRO POR MINERODUCTOIntroducción.-

Es en Brasil a fines de 1962 que el Instituto de Pesquisas radioactivas inicia experiencias y a través de tubos de acero, con el objetivo de ver las posibilidades técnicas y económicas de realizar éste transporte de finos de mineral de fierro desde el Cuadrilátero Ferrífero hasta el litoral atlántico, en un recorrido del orden de 300 á 400 Kms.

En 1963 se efectuan pruebas, obteniéndose informaciones y datos suficientes para permitir afirmar:

- 1) El transporte a larga distancia de finos de hematita a través de tubos de acero, es factible desde el punto de vista técnico, y el desgaste de los tubos por abrasión y corrosión es perfectamente aceptable para granulometrías apropiadas.
- 2) Grandes tonelajes pueden ser transportados por tubos de diámetros usuales.
- 3) El costo de construcción de un mineroducto es inferior al costo de construcción de una ferrovía.
- 4) El costo de transporte de una tonelada de fierro por mineroducto es inferior a los fletes ferroviarios, pudiéndose estimar ésta diferencia en 2 á 3 dólares por tonelada.

Descripción del Proceso.-

El método consiste en mezclarse un sólido con un líquido conveniente, siendo éste generalmente agua, de manera de formar una lama, la cual es transportada a través de un tubo de diámetro adecuado.

Existen minerales que necesitan un tratamiento de chancado previo, para luego mezclarse con el agua y formar la pulpa, la cual es inyectada al tubo.

El movimiento de la pulpa a través de los tubos se obtiene

por una ó más bombas, las que pueden ser centrífugas ó de pistón, pudiéndose también ser obtenido por gravedad en los casos en que el perfil altimétrico es conveniente y que la energía potencial es suficiente para vencer las pérdidas de carga.

Algunas Aplicaciones.-

Dos patentes de éste proceso fueron registradas a fin del siglo pasado, una en Inglaterra y otra en Estados Unidos, más no lograron suceso inmediato, pues apenas en 1914 surgió la primera aplicación comercial.

En 1930 el método gana mayor importancia, comenzando a ser usado para el movimiento de finos de carbón mineral a distancias relativamente largas.

Actualmente, sólo en Florida existen 15 "pipelines", a través de fosfatos; las dimensiones de los pipelines son de 12" de diámetro y de 2 á 8 Kms. de largo.

En Francia desde 1940, está en funcionamiento un pipeline de 15" de diámetro y 10 kms. de largo para el transporte de finos de carbón.

En Canadá desde 1951, los concentrados de níquel y cobre son transportados por un mineroducto de 12 kms. de largo y 8" de diámetro.

En el Estado de Ohio entre Cadiz y Cleveland en 1955 entra en funcionamiento una pipeline de 170 kms. de extensión para el transporte de finos de carbón.

Gilsonita, un tipo de asfalto viene siendo transportada hace varios años a través de un pipeline de 125 kms. y 6" de diámetro.

En Rusia desde 1957 se encuentra en funcionamiento un pipeline de 60 kms. de largo, también para el transporte de carbón.

En Chile fué construído un mineroducto para el transporte de concentrado de mineral de cobre, el cual funciona por gravedad.

RAUL REZO PATRON B.

PROMOCION 1965

En Francia está en funcionamiento un mineroducto para el transporte de mineral de uranio.

En Africa existen 15 pipelines para el transporte de diversos minerales y concentrados.

Transporte de Mineral de Hierro.-

Aplicaciones para movimiento a cortas distancias son en mayor número, y envuelven substancias más diversas. La mayoría de las instalaciones modernas de tratamiento de mineral, donde el material tiene que ser molido relativamente fino, la pulpa resultante es casi siempre transportada de una unidad a otra por medio de bombas y tubos. Como ejemplo se podría mencionar el transporte, por pipelines con bombas revestidas de jebe y tubos de acero especiales de concentrado de magnetita para alimentación a plantas de pellets.

Son muchos recientemente los que han escogido las posibilidades de transporte de mineral de hierro a larga distancia a través de pipeline.

Se puede usar el transporte por pipeline para materiales de cualquier interés para el movimiento de substancias sólidas que sean ó deban ser pulverizadas independientemente del tipo de transporte a ser utilizado, como el caso de finos de carbón y de calcáreas para cemento. Las razones fundamentales que limitan la aplicación del transporte por fajas de material fino son principalmente las pérdidas de carga. De ésta forma el método presenta su máximo interés para concentrados de mineral de hierro que deban ser medidos durante su procesamiento, ó de minerales que ocurren naturalmente sobre la forma de finos; siendo la única inconveniente la abrasión de los tubos, teniendo como ejemplo de ésto a las hematitas pulverulentas del Cuadrilátero Ferrífero del Brasil, y los concentrados de los itabiritos blandos.

Ventajas del Mineroducto.-

- a) Simplicidad de Construcción: Los tubos son soldados unos a otros y en los trechos no rectilíneos reciben una curva apropiada. Reciben también a todo lo largo una protección contra corrosión química externa. Por otro lado, la transposición de obstáculos naturales ó artificiales tales como ríos, montañas, carreteras, ofrecen problemas relativamente pequeños.
- b) Simplicidad de Operación y Mantenimiento: Para esto se necesita un número reducido de operarios.
- c) Transporte en un sólo sentido: En otros tipos de transporte, tales como navío, ferrovía, cabo aéreo, etc., hay siempre la necesidad de regresar al punto de partida, lo que significa un costo adicional al transporte. En el caso del mineroducto, el agua es renovada constantemente en la estación inicial y abandonada en la estación final, no habiendo problema alguno de retorno.
- d) Continuidad del Transporte: La operación es continua, procesándose durante 24 horas por día, durante la mayor parte del año, lo que lo hace un transporte muy económico.
- e) Menor Desarrollo: Un mineroducto puede vencer la distancia entre dos puntos por un desarrollo generalmente menor, en el caso de las regiones montañosas al de una carretera ó ferrovía, ligando los mismos puntos. Esa reducción de desarrollo se origina por el hecho de que el grado máximo admisible para una ferrovía moderna es del orden del 1% y para una carretera del 6%. El grado máximo para un mineroducto en el caso de transporte de mineral de fierro es del orden del 10%.
- f) Transporte por Gravedad: Dependiendo de la topografía, el transporte por mineroducto puede efectuarse total ó parcialmente por gravedad.
- g) Costo de Operación Estable: Debido al pequeño número de hombres necesarios para la operación y mantenimiento, el costo de transporte de un mineroducto es relativamente estable.
- h) Redondeo de Granos: Durante el tiempo de transporte, las partículas de mineral, sufren un sin número de choques entre

facultad de minas

PROMOCION 1965

si, y contra las paredes de los tubos, de donde resulta su superficie redondeada lo que facilita la formación de la pelota verde para la constitución del pellet.

Implicaciones en la Construcción de un Mineroducto.-

a) Yacimiento: El hecho de que solo los finos, pueden ser transportados a través de mineroductos, obliga a escoger mineral friable en lugar de compacto.

Considerando el Cuadrilátero Ferrífero del Brasil, podemos decir que las reservas de mineral son del orden de 26,000 millones de toneladas de las cuales 23,500 millones son de itabirito, blando, y el resto de hematita compacta. Es por esto que el uso del mineroducto en Brasil se hace necesario.

b) Facilidad de Procesamiento: Es sabido que la mayor parte de los minerales utilizados para peletización necesitan ser molidos hasta granulometrías de 80 á 90% malla - 325, para que haya suficiente liberación entre la ganga y el mineral.

c) Peletización: En realidad, el mineroducto puede ser considerado como una consecuencia del proceso de peletización, ya que no tendría sentido la producción y transporte de esos finos, sino fuese conocida la técnica de aglomeración en un producto de fácil colocación en el mercado internacional.

d) Ultrafinos: En cuanto una planta de peletización tiene capacidad de producción limitada y bastante definida, un mineroducto puede con modificaciones pequeñas, transportar tonelajes mayores sobre los que fué hecho. La capacidad anual de transporte de un mineroducto está definida por los siguientes factores: diámetro del tubo, densidad y velocidad de pulpa y el índice de funcionamiento efectivo. De éstos factores sólo el primero es fijo y no puede ser modificado durante la vida del mineroducto. Todos los otros pueden sufrir variaciones, llegando a incrementar la eficiencia del mineroducto.

RAUL RZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Principales Resultados de los Estudios Técnicos.-

a) Corrosión y abrasión: Al comienzo todos los esfuerzos fueron concentrados en la vida de los tubos. Se consideró que la abrasión mecánica provocada por las partículas de mineral contra las paredes, causaría un desgaste rápido, y consecuentemente una vida corta del tubo. A parte de éste desgaste había que considerar la corrosión química, cuyo orden de grandeza no se podía preveer. Luego de estudios realizados se llegó a la conclusión de que en tubos de acero, para pulpa con densidad del orden de 1.8 y velocidades del orden de 2.5m/seg. es excesivamente alta para finos sobre malla 100, y perfectamente tolerable para granulometría abajo de malla 200.

b) Pérdidas de carga: Inicialmente se pensó que la pulpa de mineral de fierro provocaba una pérdida de carga muy alta en los tubos, lo que forzaría a instalar un gran número de instalaciones de bombeo, aumentando las necesidades energéticas y por tanto el costo de transporte.

Los resultados de las investigaciones hechas fueron enteramente satisfactorias, llegando a la conclusión que tales pérdidas de carga son relativamente pequeñas, pudiendo ser colocadas para cada caso, multiplicándose la pérdida de carga para agua clara, por la densidad de la mezcla.

Nótese que los fenómenos de abrasión y pérdida de carga son directamente proporcionadas a la fricción de las partículas de mineral, con las paredes de los tubos.

c) Transporte por Gravedad: Viéndose que las pérdidas de carga podían ser mantenidas en niveles bajos, se pasó a examinar las posibilidades del transporte sin bombeamiento, esto es, enteramente por gravedad.

En Brasil se hizo un estudio y se comprobó que se podía construir un mineroducto que transportara finos sólo por gravedad; la longitud de éste mineroducto era de 380 kms. y comprendía desde Serra do Curral hasta el litoral, en las proximidades de la línea divisoria de los estados de Río de Janeiro y Espiritu Santo. Se vió también que tubos de 22" de diámetro podían transportar cerca de 7 millones de toneladas por

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

año; éstos cálculos fueron basados en fórmulas y leyes hidráulicas.

Es evidente que el transporte por gravedad tiene un gran significado para un proyecto, en términos de economía y simplicidad de operación, ya que serían eliminadas las únicas partes móviles del sistema, esto es las bombas.

Es posible también para aumentar el tonelaje de mineral transportado por gravedad, intercalar una ó más estaciones de bombeo.

d) Obstrucción en los puntos bajos de la línea: Esto es factible, formándose zonas de decantación "in situ", lo que se evita inyectando agua clara hasta que la obstrucción haya desaparecido.

e) Capacidad de Transporte de un Mineroducto: Para el caso específico de mineral de hierro, las experiencias llevadas a cabo indican que la densidad de pulpa puede variar desde 1 hasta más de 2.

Hechos los cálculos, se verifica que una pulpa de densidad 1.8 (55% sólidos) transporta una tonelada de mineral por metro cúbico de lama.

La velocidad de pulpa varía entre 1 y 2.5 m/seg, siendo muy probable que los valores más razonables estén alrededor de 1.3 m/seg.

En cuanto a eficiencia de operación, para efectos de cálculo se considera entre 80 y 90%, correspondiendo a paralización de transporte 73 á 36 días por año.

Estimación de Orden Económico.-

Este estudio se hizo en base al transporte de mineral en el estado de Minas Gerais - Brasil. Se hicieron 2 estimaciones, una considerando un mineroducto de 18" de diámetro con un desarrollo total de 400 Kms., y con tres estaciones de bombeo, cuyo costo era cerca de 24,000 millones de cruzeiros (1 dólar 1,000 cruzeiros) y otro de 24" de diámetro con una extensión de 380 Kms. y sin estaciones de bombas; su costo era de 25,000 millones de cruzeiros.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

El primer mineroducto puede transportar aproximadamente 4 millones de toneladas por año, mientras que el segundo de 380 Kms. puede transportar 6.4 millones de toneladas por año. El costo de transporte por tonelada para el primero y el segundo fué de 725 y 380 cruzeiros respectivamente.

Mezclas Homogéneas y Heterogéneas.-

Cuando se adiciona mineral de fierro pulverulento al agua, diferentes mezclas son formadas de acuerdo a las propiedades físicas de las partículas y concentraciones de las mismas. Si las partículas son suficientemente finas, la pulpa ó lama formada se comporta como una mezcla homogénea y la viscosidad del líquido (agua) es alterada; siendo su densidad igual al peso acumulado de los componentes de la unidad de volumen de la mezcla.

Para éstas mezclas, el régimen lamelar de circulación es difícil de ser mantenido, y deben ser transportados en régimen de circulación turbulento. En el caso de mineral de fierro, se puede adoptar como límite 50 micras para el tamaño máximo de las partículas sólidas que hacen que las mezclas funcionen como homogéneas. Otro criterio para ver si una mezcla es homogénea es la observación de la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas, la que debe ser aproximadamente 1.5 mm/seg.

Cuando las partículas sólidas son mayores de 50 micras, las mezclas son heterogéneas, y en ellas el medio líquido conserva su viscosidad, siendo la circulación turbulenta. En función del tamaño de la partícula sólida, el transporte de la mezcla puede hacerse en suspensión total ó nó, admitiéndose un tubo horizontal. La suspensión total de las partículas supone una velocidad de transporte sobre un determinado valor crítico, llamado "velocidad límite del depósito", la cual es variable con el diámetro del tubo, con la concentración y con el tamaño de la partícula.

Las partícula arriba de 50 micras y abajo de un determinado va-

lor son transportadas unicamente en suspensión. Si el transporte es en suspensión ó por saltos cortos depende también del valor de la velocidad y de la concentración.

Se constata la existencia para las mezclas heterogéneas de tres zonas. Los valores que limitan esas zonas pueden ser fijados por la ley de Stokes y Rittinger de sedimentación en agua clara. Las clases que obedecen a la ley de Stokes son de primera clase.

Aquellas que obedecen a la ley de Rittinger, son más gruesos ó de tercera clase. La zona de transición entre éstas corresponde a la segunda clase. De ésta manera, las clases son definidas por el valor de la velocidad de sedimentación de las partículas en agua clara.

En la sedimentación de un grano en agua clara, se puede balancear las siguientes fuerzas puestas en juego: de un lado del signo igual, los resultantes de las fuerzas de Arquímedes y de la gravedad, y de otro lado, la fuerza de resistencia opuesta al movimiento, que es proporcional a la energía cinética de la partícula.

El coeficiente de proporcionalidad corregido C_x , es de una importancia fundamental y el valor C_x/y elevado a $1/2$ mide la adaptación para el transporte de las partículas de las mezclas heterogéneas.

Siendo d el diámetro de la partícula; r y r las densidades de grano de mineral y agua, y la aceleración de la gravedad, y w la velocidad de transporte se tiene en lenguaje matemático:

$$\frac{r - r}{r} \times \frac{d^3}{6} \times \frac{C_x}{y} \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{w^2}{2g}$$

En el caso de la hematita $r = 5$

Despejando se obtiene:

$$\frac{\sqrt{gd}}{w} \text{ Cte } \times \sqrt{\frac{C_x}{y}} \text{ ó } \sqrt{C'_x} = \frac{\sqrt{gd}}{w}, \text{ que es el}$$

inverso del número de Froude de decantación.

Basados en los criterios anteriores podemos definir los límites de separación de las clases en las mezclas heterogéneas de la siguiente forma:

- 1ra. clase = 50 a 110 micra.
 2da. clase = 110 micra a 1.1 mm.
 3ra. clase = mayor que 1.1 m.m.

Solo las mezclas homogéneas interesan en el caso del transporte hidráulico de finos de mineral de fierro.

Pérdida de carga de las mezclas homogéneas:

1) En circulación lamelar: Las mezclas homogéneas poseen una viscosidad variable con el valor de la gradiente de la velocidad.

En lenguaje matemático se tiene:

$$D = D_y + n \frac{dV}{dy}$$

donde: D es el esfuerzo de cizallamiento en la mezcla.

D_y es el límite elástico ó "yield value".

n es el coeficiente de rigidez ó viscosidad plástica.

$\frac{dV}{dy}$ es la gradiente de la velocidad.

dy

La circulación lamelar ó turbulenta se da para un número de Reynolds crítico $Re = 2,000$ como para agua pura.

Con esto se puede calcular la velocidad crítica de circulación de régimen lamelar ó turbulento.

2) En circulación turbulenta: Las pérdidas de carga, en altura de mezcla, es igual a la pérdida de carga en agua clara.

El valor de las pérdidas de carga en altura de mezcla h, por metro de tubo es independiente de su inclinación, y podrá ser calculada por la fórmula clásica de Darcy - Weisbach:

$$uh = f \cdot \frac{1}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

Donde: u = densidad de la mezcla.

f = factor de la tubería

D = diámetro.

V = Velocidad de pulpa.

g = gravedad.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

Desgaste de los Tubos.-

Es uno de los parámetros más importantes en el pre-dimensionamiento en el estudio económico del mineroducto. Existe un método general, para conocer ese desgaste y consiste en introducir un tubo radioactivo como parte del sistema cuyo desgaste se quiere conocer. El material abrasivo ó corrosivo **circulante** va a retirar partículas radioactivas de ese elemento. Esas partículas son detectadas y contadas a un aumento de desgaste, corresponde un aumento de partículas contadas.

La cuenta de las partículas puede ser hecha por contadores de fluido, los que nos dan valores instantáneos de desgaste. Fuera de éste método general es posible utilizar isótopos radioactivos en el estudio de desgaste de tubos. Se podría obtener la cuenta haciendo un circuito cerrado de tubos de acero, en las cuales la suspensión mineral-agua circule por medio de bombas. Siendo el acero el material de estructura indicado para el transporte económico, se introduce en el circuito un tubo de acero radioactivo en un reactor nuclear; las medidas de desgaste son referidas evidentemente a ése tubo.

Periódicamente son retiradas las muestras del circuito; las muestras en suspensión son secadas y el mineral resultante es colocado en recipientes de polietileno de 10 ml. de capacidad para la cuenta.

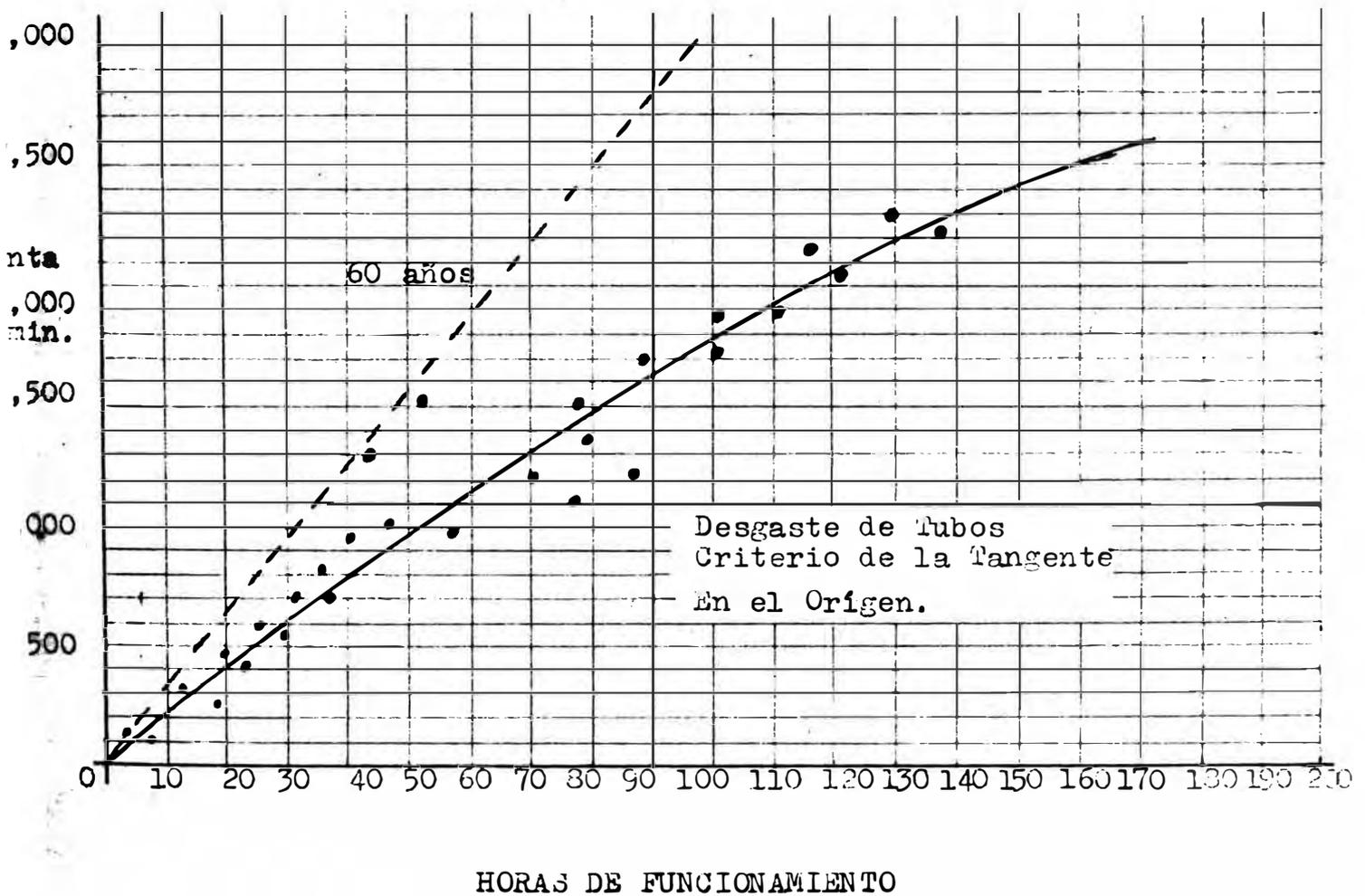
El desgaste total viene a ser la suma del desgaste por abrasión y corrosión. La abrasión está en función de la velocidad de transporte en suspensión, de la concentración de la suspensión, del material del cual están hechos los tubos, del tiempo de funcionamiento y de la dureza y diámetro de las partículas de mineral.

El mecanismo de corrosión es extremadamente complejo. El método usando radioisótopos mide el desgaste total, ó sea la abrasión y corrosión, pues cualquiera que sea la forma química sobre la cual el acero pase a suspensión, la corrosión quedará evidenciada por la actividad de las moléculas que incorporan al acero radioactivo corroído.

La oxidación del tubo es un factor decisivo en el aumento del **desgaste**

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965



RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Un último factor se podría considerar el desgaste de los tubos en función del tipo de molienda; así una molienda en molino de bolas (húmeda) produce menos desgaste que una molienda en molinos de discos (seca).

Determinación del Ángulo del Mineral Decantado.-

Otro de los parámetros de interés para un proyecto de línea, se refiere a los grados admisibles para evitar la obstrucción del "pipeline", impidiendo el flujo de la suspensión. Es por esto que debe verse cual es la solución para evitar el tapamiento del conducto en caso de paralización del flujo.

La solución puede verse bajo los siguientes factores:

- a) Si ocurre taponeamiento total, cual es la resistencia ofrecida a la nueva partida de bombeamiento.
- b) Cual es el mecanismo de decantación del mineroducto.
- c) Cual es la sección estrangulada por ese mecanismo en función de la inclinación de la línea.
- d) Cual es el ángulo del mineral decantado en el fondo del tubo, después de la paralización del flujo.
- e) Cual es el efecto de granulometría y concentración.

Una gran herramienta para el estudio de éstos problemas es la radiografía de las secciones del conducto, por medio de rayos gama emitidos por isótopos radioactivos.

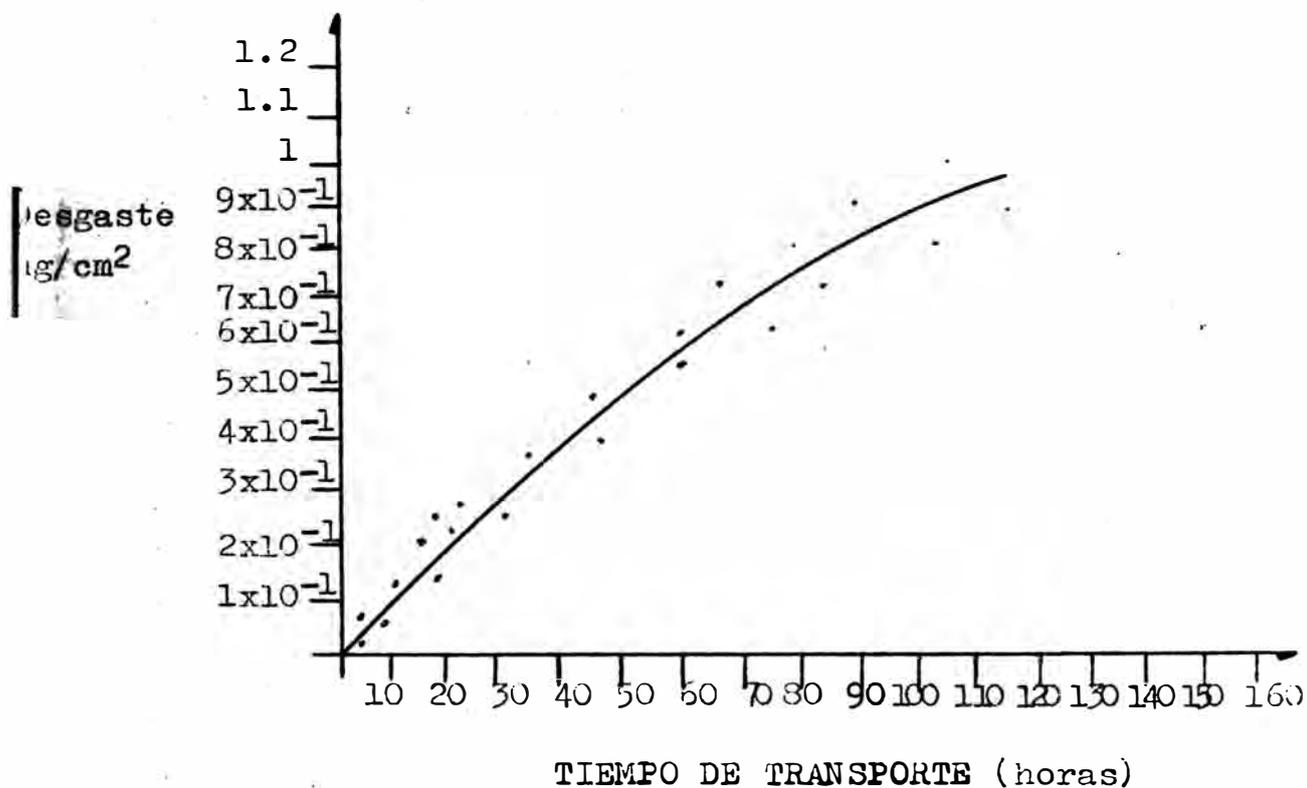
Velocidad de Transporte.-

La influencia de la velocidad de transporte es muy grande, pues la abrasión aumenta con el cubo de esa velocidad de donde se observa que se deben usar las velocidades más bajas posibles. Hay entretanto límites de velocidad mínimos, definidos por el tamaño de la partícula y por el diámetro del tubo.

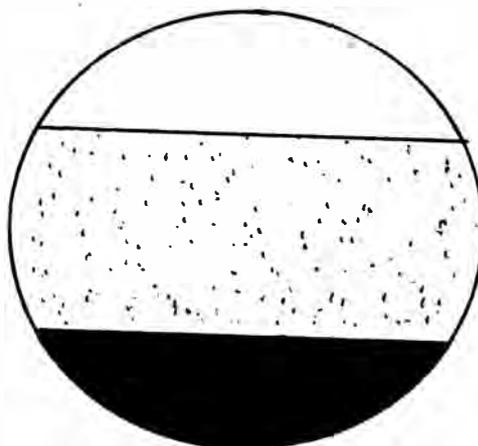
El desgaste de los tubos está en función del tamaño de las partículas transportadas, habiendo quedado demostrado que cuanto menor es el tamaño del grano, menor es el desgaste. Fue también comprobado que el arrendamiento de los granos du-

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965



Decantación de las partículas dentro del tubo, cuando ha paralizado la circulación.



Agua

Mezcla homogénea

Finos decantados y saturados de agua

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

rante el transporte provoca una inflección en la curva de desgaste ó una desminución de desgaste en el tiempo. De ésta forma el desgaste de los tubos es variable a lo largo de la línea, siendo mayor en su inicio y menor en su extremidad. Las figuras nos muestra la ley general de desgaste, y por ella se puede ver que con el tiempo la curva tiende a ser tangente a una recta de ecuación: Desgaste = const.

La recta (2), tangente en el origen a la curva (1), representaría la ley de desgaste si no hubiese la influencia de ningún factor para disminuirlo con el tiempo. Esto es, la recta (2) representaría el desgaste a lo largo del mineroducto en el caso de que no ocurriese la disminución del poder abrasivo de los granos por su arredondamiento.

Problemas del Taponamiento.-

Esto ocurre en las partes bajas de la línea, cuando por cualquier motivo la circulación de la mezcla ha sido paralizada.

Para explicar el fenómeno admitimos en primer lugar un tramo de la línea horizontal, a través de la cual circula una mezcla de agua y finos de mineral para peletización con una concentración %. En esas condiciones se tiene la paralización de la circulación de la mezcla y comienza la decantación de las partículas sólidas, habiendo por tanto el inicio de separación de la fase líquida y sólida. Haciendo una sección al tubo luego de un tiempo prudencial, se puede observar en la figura. Refiriéndonos a esa misma figura y continuando la no circulación, las partículas todavía en suspensión en la parte intermedia irán poco a poco depositándose, hasta que en un cierto instante, se tendrá solo dos zonas ó capas estables; una de finos de mineral saturados de agua, en el fondo y otra de agua clara en la parte superior del tubo. En ese caso no hay taponamiento.

Supongamos ahora una ligera inclinación en este tubo horizontal, conteniendo las fases líquidas y sólidas ya separadas.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

El depósito en el fondo, del tubo no circulará. Sin embargo, si aumentamos progresivamente el ángulo de inclinación, habrá un ángulo crítico ó de reposo, a partir del cual habrá circulación para la parte inferior taponeándose.

Admitimos ahora, en segundo lugar que el trecho de la línea considerando posee una inclinación sobre la horizontal menor que el ángulo de reposo ó inclinación crítica. Análisis hechos demuestran que coexisten dos fluidos de densidades diferentes en una sección recta, desde el momento de la paralización hasta la completa separación de las fases líquidas y sólidas. Esos dos fluidos conforme se observa en la figura son, una mezcla homogénea y agua clara.

Como el tubo posee una inclinación sobre la horizontal, y como dentro de él, esos dos fluidos de densidad diferente consecuentemente aparecerá la circulación de una corriente de densidad descendente de la mezcla más densa y ascendente del agua. Antretanto, en función del tiempo, la tendencia es formarse una total decantación de las partículas sólidas, y como no hay circulación por ser la inclinación horizontal menor que el ángulo de reposo ó inclinación crítica, se puede concluir que habrá una transferencia longitudinal de esas partículas sólidas, por la corriente de densidad, actuando solamente sobre una determinada distancia. Esa distancia es una función del diámetro del tubo de la concentración de transporte p % y del ángulo de inclinación del tubo.

Así, en un tramo de tubos con inclinación de 10% se ha pasado a otro con inclinación de 6% según una experiencia, y se ha comprobado que todas las partículas transferidas longitudinalmente, que son movidas del tramo más inclinado al menos inclinado, distribuyéndose en este segundo tramo, y no provocando taponamiento.

De ésta forma, el método para evitar el taponeo es simplemente pasar de un trecho más inclinado a un trecho horizontal, por medio de trechos intermedios, cuyas inclinaciones son progresivamente disminuídas, hasta llegar a cero.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO VESTUDIO ECONOMICO DEL TRANSPORTE POR GRAVEDAD Y POR BOMBEA-
MIENTO DE LOS FINOS DE MINERAL DE FIERRO DEL CUADRILATERO
FERRIFERO - BRASILConsideraciones Generales.-

Los terrenos correspondientes a las camadas mineralizadas del Cuadrilátero Ferrífero, se encuentran entre los 700 á 1700 metros sobre el nivel del mar, encontrándose las más ricas concentraciones entre los 1,200 y 1,400 metros, siendo ese el orden de grandeza de la energía potencial con la que se cuenta para el transporte de los finos por mineroducto.

Con experiencias llevadas a cabo, se demostró que esa energía disponible era suficiente para vencer las pérdidas de carga y provocar la circulación de la pulpa a través del recorrido.

El Cuadrilátero Ferrífero queda separado del litoral por dos Sierras importantes, la de Mantiqueira y la de Mar, siendo la segunda la que dificulta mayormente el transporte, por estar muy próxima a la costa y absorber cerca de 2/3 de la energía disponible. Haciendo el transporte en forma directa desde el Cuadrilátero hasta Río de Janeiro se necesitaría por lo menos 2 ó 3 estaciones de bombeo; mientras que si se hiciese del Cuadrilátero a Itabapoana podría hacerse sólo por gravedad, ya que se salvaría el obstáculo principal que es la Sierra de Mar.

Transporte por Gravedad.-

Adoptándose los criterio de menor extensión posible, para el trazado de la gradiente máxima de 11% para los tubos, se verificó que debían pasar la Sierra Mantiqueira en las proximidades de Guiricema en la costa 730.

El punto de partida fué tomado en la costa 1330 en la Sierra del Curral, a pocos kms. de Belo Horizonte. De éste punto a Guiricema, hay 194 kms. de línea, de donde resulta una

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

gradiente de 3.1 m/km.

De Guiricema al litoral son 180 kms. con una gradiente de 4.03 m/km. La extensión del mineroducto es de 374 km., con un túnel de 2.1 km. de largo, en el km. 57.

En estas condiciones se podría estimar un transporte anual mínimo de 8 millones de toneladas de mineral de fierro con una granulometría definida para pellets.

Adoptándose una concentración de transporte $p = 50\%$, el peso específico de la mezcla es igual a 1,667 y el gasto $Q = 0.303 \text{ m}^3/\text{seg}$. El diámetro del tubo igual a 56 cm. y la velocidad de transporte de 1.23 m/seg.

El espesor de los tubos de 22", dimensionado para un acero de 3,200 Kgs./cm² de límite de elasticidad. El consumo total de acero para 20 años de servicio se calculó en 58,300 Tns. Fueron previstos en este estudio obras para la transposición de obstáculos naturales y artificiales, tanques para almacenamiento de pulpa, agitadores, controles automáticos de densidades, puestos de control cada 20 kms., estación central de control, protección externa del tubo y otros gastos menores, que hacían una suma de 25,000'000,000 de cruzeiros. Luego de éste costo de construcción se pasó a calcular el costo de transporte de una tonelada de mineral.

Transporte por Bombeamiento.-

La estación inicial está situada a 1,200 m.; y la extensión del mineroducto es de 398 kms.

Para la concentración $p = 50\%$, se encontró un gasto $Q = 191 \text{ lts/seg}$ y una velocidad de 1.15 m/seg, con una pérdida de carga de 3.5 m/Km.

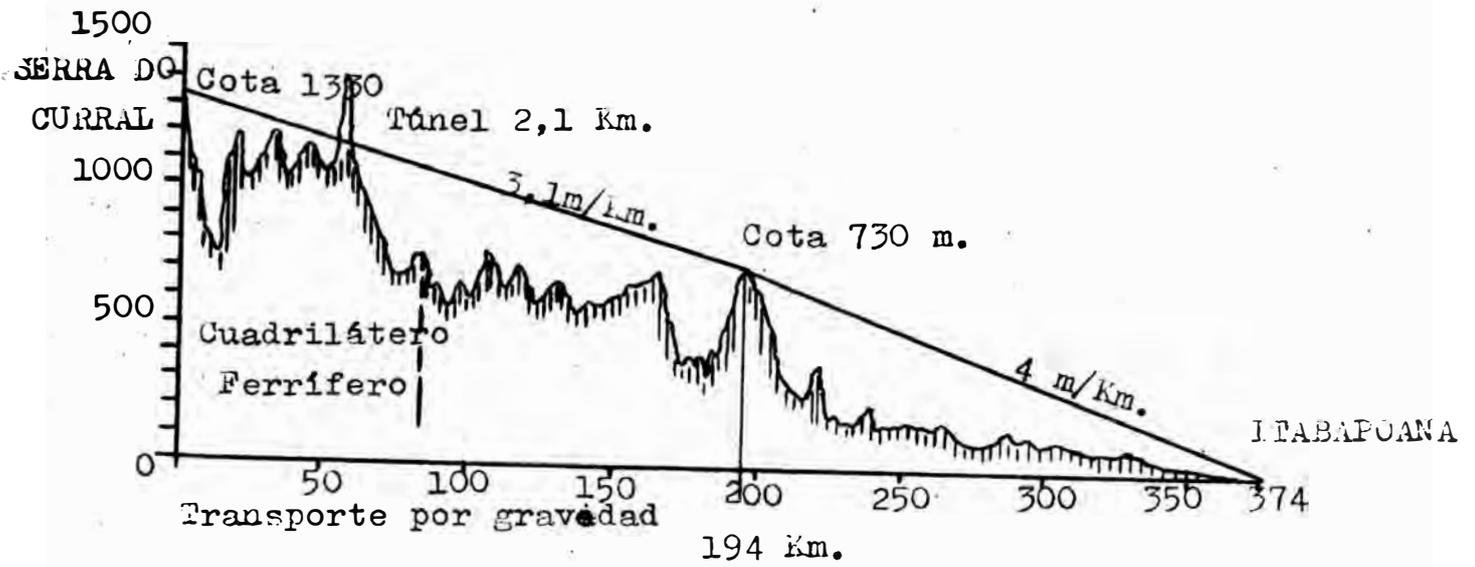
Se llegó a la conclusión que se necesitaría 3 estaciones de bombeo.

El espesor de los tubos de 30 cm. para una vida útil de 20 años significaría un consumo de 58,850 Tns.

El costo de construcción global se estimó en 24,375'000,000 de cruzeiro.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

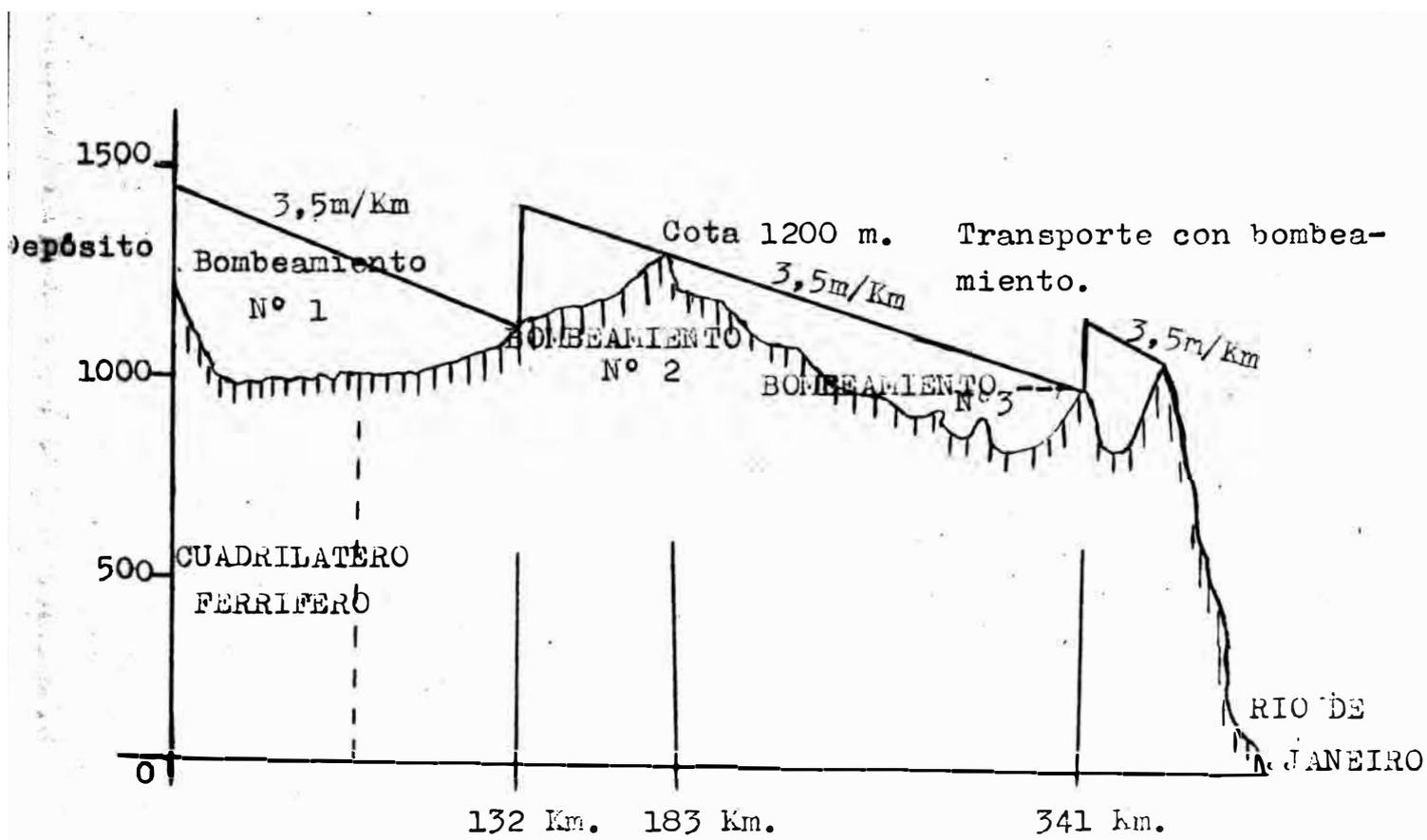


MINAS GERAIS



RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965



RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

El costo de transporte por tonelada usando este método es 1/3 del flete cobrado por las ferroviarias.

En relación al costo por gravedad, se llega hasta 1/6.

<u>Estación de Bombas</u>	<u>Posición Kms.</u>	<u>Presión Manométrica de la mezcla.</u>	<u>Potencia de bombas (C.V.)</u>
1	0	297	1,300
2	132	346.5	2,100
3	351.5	220	1,335
<u>Suma:</u>			5,235

EFICIENCIA 80%

<u>6'400,000 Tns.</u>	<u>4'000,000 Tns.</u>
Por gravedad para Itabapoa- na. 25,100 mi- llones.	Con bombeamiento para Río. Cr.24,400 mi- llones.

COSTOS

	<u>Cr. \$</u>	<u>Cr. \$</u>
1) <u>Encargos de Capital:</u>		
a) Depreciación de bombas.	-	8.30
b) Depreciación de tubos.	61.50	91.50
c) Otros.	155.00	236.60
2) <u>Operación:</u>		
a) Mantenimiento y reparac. de bombas.	-	13.20
b) Mantenimiento y reparac. de tubos, tanques, etc.	78.50	49.00
c) Salarios.	31.90	76.50
d) Energía.		69.30
3) <u>Desmontaje y transporte de los tubos al final de la vida útil:</u>	11.20	19.30
4) <u>Otros costos:</u>	9.20	24.10
5) <u>Eventuales:</u>	34.70	65.90
<u>Transporte: Costo global por tonelada</u>	382.00	723.70

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO VIGEOLOGIA GENERAL DE MARCONAClima y Vegetación.-

El clima imperante en la zona es muy árido, y tiene relación con la corriente de Humbolt. El clima durante el verano es más bastante agradable, siendo en el invierno frío.

La precipitación anual no llega a dos milímetros, y sobre ésta base se puede asegurar que es ésta una de las regiones más áridas de la tierra; la falta de lluvias se refleja en la correspondiente sequedad subterránea, y no se ha encontrado napa aquífera ni siquiera en los sondajes más profundos que ya han llegado a más de 300 metros de la superficie. Sin embargo casi prevalece 100% de humedad, causada por densa neblina en toda el área, durante los meses de Abril á Diciembre y la cual es debida a la corriente cercana de Humbolt.

En invierno se observa vegetación de lomas, la cual es debida a las finas precipitaciones que origina la neblina. Las temperaturas de ésta zona varía de 10 á 25° en el invierno y de 15 á 30° en el verano.

En la zona existen fuertes vientos en determinadas épocas del año con dirección S.E. y S.O. y que alcanzan velocidades de 20 á 45 Km. por hora. A éstos fuertes vientos se les denomina "paracas".

El fuerte viento ejerce en ésta región lo que se denomina ablación o deflación o sea denudación eólica y también la corrosión eólica o la fuerza destructiva del viento cuando está cargado de arena y lanza material contra las rocas, destruyendo por rozamiento.

Los vientos constituyen un fuerte agente de desintegración mecánica. Erosiona, mezcla y acumula detritus eólicos de arena, polvo y partículas, cubriendo con mantos de medio metro, y de mayor profundidad donde el viento pierde velocidad.

La densa neblina con sus fuertes vientos incluye sal halita, depositándolo en la superficie, la cual se escurre con

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

lluvias esporádicas, junto el yeso disuelto, que por evaporación depositan el "caliche" en forma de costra lo que dificulta la operación de desencapado. La neblina tiene un fuerte efecto corrosivo sobre el equipo mecánico, el que se resguarda con pintura y engrase.

El clima árido permite excavaciones casi verticales sin temor a deslizamiento de rocas y no hay problema de desague.

Fisiografía y Geomorfología.-

Las Minas de Marcona, principales productoras de hierro están ubicadas a 400 kms. en línea recta al S.E. de Lima, en una penillanura a 800 metros sobre el nivel del mar. Las minas se encuentran en una zona de plataformas costeras ó terrazas de erosión marina.

La zona mineralizada cubre un área de unos 100 kms² en forma de una faja arqueada de 20 kms. por 5 kms. cuyo eje longitudinal, sigue la dirección de la costa. De muy fácil acceso por el mar del cual sólo dista 10 kms. de línea recta, servida por dos bahías de San Nicolás y de San Juan, ambas grandes y profundas.

El terreno desértico suavemente ondulado de la pampa de Marcona, presenta algunos afloramientos de puntones rocosos, pero mayormente está cubierto por un encapado no consolidado de rodados, grava y arenas que llega a tener espesores hasta de varias decenas de metros. En las llanuras arenosas donde se encuentran las minas hay formaciones eólicas.

Desde el punto de vista de la Geomorfología, el área es el producto de una escultura marina de destrucción, bastante joven. Esta penillanura fué elevándose hasta la altura actual de 800 metros, dejando visibles amplias terrazas marinas, que en número de 20 se aprecian en las bahías.

Las terrazas inferiores, son bien marcadas y distintas, mientras que las superiores son redondeadas y modificadas por estar mayor tiempo expuestas al intemperismo y erosión, siendo sus frentes o respaldos muy inclinados.

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

En la zona de Marcona, la erosión marina he seguido un sistema cíclico. Primero, cuando avanzó el mar se formó una superficie de erosión marina con sus escarpas. Segundo, con la regresión marina, ésta superficie es suavizada y nivelada con la deposición de una delgada capa de rodados, arena y grava.

Las superficies perfectamente niveladas de las terrazas inferiores atestiguan el comportamiento regresional. Las actuales bahías de San Juan y San Nicolás están comenzando el período de regresión marina.

La rapidez del sollevamiento se verifica por el hecho de que los fósiles que hay en la capa de arena no consolidada de la terraza superior más superior a 800 metros de costa, son idénticos a los que viven en la playa actual.

La terraza superior, en la que se hallan los depósitos de hierro, tiene la superficie ondulada con colinas de roca madre más resistente, generalmente flancos de mineral o cuarcitas. La presente deposición eólica es en quebradas y cavidades ó valles junto a la pendiente de las colinas formadas por la erosión inicial.

La consecuencia inmediata de la actividad marina y el sollevamiento, es la existencia de rodados de hematita lustrosa que cubre la antigua superficie de erosión. Esto prueba que la oxidación de magnetita a hematita, mena de los depósitos de mineral de exportación directa, se llevó a cabo antes de la erosión marina o durante ella y se continuó durante el sollevamiento. Los trozos lustrosos de hematita corrosionados por el viento indican que la oxidación no tiene relación con la superficie actual.

Geología Regional.-

La mineralización de Marcona se presenta en dos maneras: ya sea como grandes cuerpos masivos de magnetita que penetran y reemplazan rocas calcáreas de la formación más arenosa y joven de Cerritos. La zona superficial de la mayor parte del yacimiento ha sido sometida a oxidación y lixiviación, con conversión de la magnetita primaria en martita y limonita.

SIS DE GRADO

RAUL REO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Los yacimientos varían en tamaño, desde vetas irregulares y muy falladas de pocos metros de ancho y escasa profundidad, hasta grandes cuerpos mineralizados de forma tabular con fuerte buzamiento que llegan a tener hasta 2,000 metros de longitud y 100 á 200 metros de ancho y cuya profundidad aún no es conocida. El fallamiento y fracturación posteriores a la mineralización, han sido intensos.

Estos factores combinados a la intrusión de diques irregulares parece localizar e influenciar el grado de oxidación y lixiviación ocurrido. Esto hace necesario un estricto control geológico para guiar y ayudar en el planeamiento de la explotación.

Efectos del Intemperismo en el Yacimiento: La erosión, la lixiviación y la oxidación han sido intensos, todo ésto comenzó cuando la zona fué alternativamente sumergida y levantada y posiblemente continuó en la superficie cuando el clima era más lluvioso; entonces tenemos que debido a la remoción, eliminación en soluciones de los minerales solubles por percolación de aguas que lógicamente han sufrido un proceso de acidificación ya que han entrado en contacto con las piritas, y a la oxidación se ha producido en una zonación vertical; así tenemos que en la parte más próxima a la superficie, la disolución ha actuado sobre los elementos no valiosos, produciéndose de ésta manera un enriquecimiento secundario superficial que profundiza un promedio de 26 metros, y que se llama la zona de Lixiviación que actualmente es la que se explota para obtener mineral de embarque directo (Direct Sinter).

Consta principalmente de hematita y magnetita masivas y porosas de color marrón rojizo oscuro, así como áreas limoníticas fracturadas. Los otros minerales acompañantes son el yeso que se presenta en vetillas y algunas zonas con crisocola, determinando áreas molestosas de concentración de azufre y cobre; también encontramos actinolita alterada y talcosa, algo de sericita, clorita, goethita y cuarzo. Esta zona presenta una laminación ó fracturamiento horizontal, que se confunde con aparentes planos de estratificación. Todos los minerales de ésta zona lixiviada son de embarque directo, pues la ley en fie-
es alta, de + 60%, bajo azúfre 0.15 á 0.20%, de bajo fós-

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

foro y baja sílice. Tampoco debemos olvidar que en ésta zona se encuentran la mayor cantidad de polvo de mineral y granos menores de 1/4", conocidos con el nombre de "finos", que también son embarcados ó tratados en una planta de beneficio especial para ser transformados en concentrados. Luego viene la zona Superior de Sulfatos; aquí el más abundante tipo de mineral es una hematita-martita, rojiza opaca, masiva, con vetillas de jarosita masiva de color amarilla, todo lo que significa espacios, fracturas, intersticios están llenos con sulfatos donde antes existió pirita; así tenemos la presencia de yeso y anhidrita.

Esta zona tiene un ancho promedio de 12 metros, y la ley aproximada para el fierro es de 56% y para el azúfre 1.7%. Más abajo se tiene la llamada Zona Inferior de Sulfatos, aquí el mineral presenta una mayor martización, también tenemos hematita y magnetita; comienza a aparecer pirita fresca, rodeada por sulfatos tales como jarosita y yeso; en general se puede decir que con la profundidad decrece en ésta zona, la cantidad de sulfatos y hay tendencia a que aumente la pirita.

La ley promedio para el fierro es de 56.2% y para el azúfre 2.4%; el espesor es de 27 metros. La última y más profunda es la Zona de Sulfuros Primarios; aquí es donde se encuentra el fierro originado por acción magnética directa y es la de mineralogía más simple, pues consta de magnetita criptocristalina de color negro, con abundantes cristales de actinolita cerdosa cambiando a veces a talco y clorita; también se encuentra pirita diseminada, en menor cantidad chalcopirita y muy poca bornita, así mismo cristales de calcita y vetillas de yeso.

Un cuerpo mineralizado típico de gran tamaño se divide en 3 zonas superpuestas, más ó menos horizontalmente, las cuales han sufrido diferentes grados de oxidación. Empezando desde la superficie, éstas son:

1) Zona lixiviada. 2) Zona de sulfatos y 3) Zona de sulfuros.

El mineral típico de la zona lixiviada es la martita con algo de limonita y magnetita y constituye la fuente de producción.

La ley promedio en ésta zona es de 60% de Fe, 0.05% de P. 0.15% de S y 6% de SiO₂. El espesor de ésta zona varía entre los 20 y 40 metros y el mineral es fracturado y algo poroso. La zona lixiviada se convierte transicionalmente en su fondo en una zona algo más delgada de sulfatos y cuyo contenido de magnetita aumenta en profundidad.

Las fracturas son menos evidentes habiendo sido rellenadas por una deposición secundaria de material acarreado en forma de solución desde las zonas superiores.

La zona de sulfuros que es la más profunda, comprende la mayor parte del depósito de Marcona y está bien diferenciada de la zona superior de sulfatos. El mineral consiste en magnetita masiva, acompañada de pirita diseminada y actinolita fibrosa.

El mineral es negro, pesado, sumamente uniforme en composición y casi no presenta poros. Este mineral primario se extiende a profundidades desconocidas, pues taladros de 300 metros de profundidad no indican reducción en la continuidad del mineral.

Geología Histórica.-

Los estratos paleozoicos y mesozoicos juegan importante papel con relación a los depósitos de mineral.

La conducta deposicional del Paleozoico, parece haber sido de una fosa fluctante, unas veces con aguas profundas y tranquilas, donde se depositaron calizas y arcillas, y otras veces cercana a la Costa, donde se acumulan arenas y arkosas.

Al emerger el mar, fueron erosionados sus estratos superiores y en el Jurásico se formaron diferentes horizontes volcánicos de meta-ácidas, tufos, brechas, etc., los cuales son particularmente ricos en minerales de fierro.

La actividad volcánica se continuó en el Cretásico, volviéndose a sumergir y formándose algunos sedimentos de arenisca calcárea, arkosas y caliza impura.

Probablemente a fines del Cretásico, sobrevino la intrusión del Batolito de San Nicolás, provocando una flexión homoclinal

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

regional y causando un metamorfismo regional muy extendido. Es posible que ésta intrusión ha influenciado la formación de las fallas más antiguas.

Se cree que éste Batolito acarreó las soluciones minerlizantes de fierro, que reemplazaron preferentemente estratos calizo-dolomítico del Cretácico y Silúrico, enriqueciendo y reemplazando cientos horizontes volcánicos del Jurásico.

El siguiente suceso es la intrusión de una variedad de rocas hipabisales: dacita, andecita, etc., que cortan el área de la mina. La mayor extensión la encontramos en el volcánico de Nazca, cuyos derrames parecen haber sido a través de diques durante el Terciario.

Sucede luego, una erosión parcial y sumergencia, depositándose en el Mio-Plioceno arcillas fangosas y arkosas.

El fallamiento lleva éste maciso fuera del mar y la erosión marina esculpe sus formas actuales, dejando restos del Terciario y delgados mantos de arenas y rodados del Cuaternario.

Columna geológica generalizada.- Area de Marcona:

A.- Cenezoico:

Cuaternario: Detritus marinos eólicos.

Terciario Superior: Formación Río Grande. Lutitas, areniscas y conglomerados con yeso.

Terciario Inferior: Formación Nazca. Lavas de andecita porfirítica. Diques de andecita porfirítica.

B.- Mesozoico:

Cretácico Superior: Diques de granodiorita. Granito de San Nicolás. Granito hornblenda con bordes migmatíticos.

Cretácico Inferior: Formación Copara. Tufos y brechas meta-calcareas, calizas arenosas.

Jurásico: Formación Cerritos. Tufos y lavas intercaladas con meta-calcareas. Contiene depósitos de fierro.

C.- Paleozoico:

Pre-Jurásico: Diques y sills de dacita.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Diques y sills de meta-andecita.

Silúrico:

Formación San Juan-Pampa. Hornfs pizarrosos, filitas, calizas y pizarras calcáreas. Contiene depósitos de fierro.

Cámbrico:

Formación Pista. Cuarcitas y meta arkosas granitizadas.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

CAPITULO VIIGEOLOGIA GENERAL DEL CUADRILÁTERO FERRIFERO - BRASILGeneralidades.-

Tiene un área de más o menos 7 mil km², con sus vértices próximos a las ciudades de Itabira por el Nor Este; Mariana por el Sud Este, Congonhas por el Sud Oeste y Itaúna por el Noreste, envolviendo varias ciudades, entre ellas Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Santa Bárbara, Itabirito y Ouro Preto.

Fué denominado así por Gonzaga de Campos, debido a los grandes depósitos de mineral de fierro existente; y que constituyen una de las áreas clásicas de la geología pre-Cámbrica del mundo.

Durante el ciclo de Ouro ésta área dió inmensas riquezas para el tesoro de Portugal. Hoy el uso de las grandes fuentes de mineral de fierro constituye uno de los principales alicientes de la creciente revolución industrial brasileira. Actualmente se hacen grandes exploraciones de mineral de fierro, entre tanto cerca de \$ 200,000.000 dólares de divisa ya fueron obtenidos por la exportación para Estados Unidos, a Europa y Japón. Es probable que en un futuro cercano se pueda obtener \$ 200,000.000 por año de la exportación de mineral de fierro.

La geología del cuadrilátero ferrífero es bastante compleja. Tiene un mínimo de 3 series de rocas sedimentarias separadas por discordancias principales.

Tres edades de intrusiones graníticas son conocidas. Las rocas del área se presentan falladas y metamorfas con gran variedad.

Estratigrafía.-

Serie Rio das Velhas.- Las más antiguas formaciones sedimentarias del cuadrilátero son denominadas Serie Rio das Velhas.

La edad de éstas rocas no es conocida exactamente; son corta-

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

das por intrusiones graníticas cuya edad es de 1,350 millones de años.

La Serie Río das Velhas fué dividida en dos grupos; el más viejo conocido como grupo Nova Lima y el más nuevo denominado Maquiné.

Los dos grupos son separados por una discordancia levemente angular en el área donde fué descubierta. El grupo Nova Lima tiene mayor área, y está compuesto de micaxistas y cuarzo-micaxisto en forma de lechos (camas) con lentes y zonas de formaciones ferríferas metamorfoseadas grawacas, cuarcita, conglomerado, rocas metavolcánicas, filitos grafitosos, cuarzo y otros. Las formaciones ferríferas del grupo Nova Lima alcanzan a veces más de cien metros de espesor (potencia).

El grupo Maquiné consta de divisiones aproximadas de 1,200 metros de espesor. La división inferior está formada de cuarzo sericita con lentes y lechos de grawaca, cuarcita y conglomerado. El lecho base en muchas localidades está compuesto de grandes piedras blancas de cuarzo; en la división superior predomina la cuarcita con mucho conglomerado y algo fillitas.

Serie Minas. - A ésta serie se le definió originalmente como rocas esquistosas sobrepuestas como base cristalina. La serie Minas fué dividida (1957) en tres grupos: Carasa, Itabira y Piracicaba. Recientes determinaciones de edades de las rocas intrusivas que cortan a la serie Minas, muestran que la más antigua de las rocas tiene 550'000,000 de años.

La presencia de rocas graníticas, demuestra que la edad es aún más antigua y que data de 1'350,000,000 años.

La serie minas representa:

- 1) Sedimentos clásticos de granulación fina y grosera depositada durante transgresión marina (grupo Carasa).
- 2) Predominio de sedimentos químicos que se acredita por deposiciones de mar raso (grupo Itabira).
- 3) Predominio de sedimentos clásticos depositados en un ambiente de transgresión (grupo Piracicaba).

Grupo Carasa: Se subdivide en dos formaciones llamadas Moeda y Batatal.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

Formación Moeda: Está compuesta de cuarcita, conglomerados y localmente son encontrados lechos de fillitas.

El espesor máximo de ésta formación es del orden de 1200 m.

Formación Batatal: Se compone en varias localidades de fillitas ó micaxistos. Lentes de chert metamórfico son encontrados raramente en ésta formación.

La formación Batatal, apesar de ser bastante cuarzosa, se presenta compuesta de fillita muy pura.

El espesor de la formación varía hasta centenas de metros.

Esta formación es de pequeño valor económico, ya que los únicos depósitos minerales conocidos son pocos y pequeños de Mn.

Grupo Itabira: Se divide en 2 formaciones: Itabirito Cané y formación Gandarela.

Itabirito Cane: Se sobrepone a la formación Batatal, y se compone de itabirito dolomítico, itabirito anfibolítico y algunos lechos menos importantes de cuarcita, fillita y dolomita.

Cuando el itabirito es rico en dolomita también lo es en magnetita y martita.

Esta formación tiene espesores hasta de 1,000 m. La espesura media se puede estimar en 250 m., debido a las acciones tectónicas.

La alteración de itabirito Cane produce como ganga una roca superficial químicamente inerta y mecánicamente resistente, compuesta principalmente de hidróxido de fierro.

Desde el punto de vista económico, itabirito Cane es la roca más importante del cuadrilátero ferrífero.

Formación Gandarela: Se sobrepone a Itabirito Cane. Esta es mayormente dolomítica, más se presenta bastante fillita.

Algunos dolomitos contienen manganeso y fierro, en forma de calcita y dolomita ferrífera y manganífera.

El óxido y carbonato de manganeso son de origen singenético.

El óxido de manganeso singenético parece estar presente en formaciones ferríferas intercaladas y probablemente en algunas zonas fillíticas.

La formación tiene un espesor máximo de 1,000 m., mientras que el espesor standard llega sólo a 200 m.

RAUL REZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Grupo Piracicaba: Está constituido por cierta variedad de rocas metasedimentarias. Entre éstas se tiene cuarcita ferruginosa, fillito dolomítico, dolomita, grawacas, metatufos y otras.

El grupo tiene como mínimo 4,000 m. de espesor.

El límite superior del grupo Piracicaba es desconocido. Las partes altas parecen que están en contacto con un granito más joven que termina en una superficie de erosión. El grupo Piracicaba fué dividido en cinco formaciones: Cercadinho, Fecho da Funil, Tabooes, Barreiro y formación Sabará.

Formación Cercadinho: Constituida de cuarcita ferruginosa y fillita.

La cuarcita varía en tamaño desde una granulación fina hasta la formación de conglomerados, siendo la granulación más común la intermedia. El espesor máximo es de 317 m. en una localidad cerca a Córrego do Cercadinho; siendo el espesor medio de 100 m.

Esta formación tiene escaso valor económico.

Formación Fecho da Funil: Está compuesta de fillitas dolomíticas de color marrón oscuro, dolomia argilosa, fillita rosada, y en menos cantidad fillita silicosa y cuarcita ferruginosa.

El espesor de ésta formación varía; siendo el espesor medio de 300 m. y el máximo de 492 m.

Formación Cuarcita Tabooes: Cuando está fresco tiene granulación fina de color oliva. En la mayoría de las veces la cuarcita está alterada, presentando una coloración parda. El espesor de ésta formación de 300 m. y el medio de 100 m. El contacto con la formación Barreiro es concordante y generalmente de transición brusca.

La cuarcita Tabooes en muchos lugares resiste a la erosión y forma pequeñas elevaciones.

Formación Barreiro: Está compuesta de fillitas grafitosas, intercaladas con fillitas de coloración marrón clara.

El espesor máximo conocido es de 124 m. presentándose también espesores del orden de 30 m.

La formación Barreiro en muchos lugares presenta cuarcita

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

desagrada, formando pequeñas elevaciones.

Formación Sabará: Está compuesta de fillitas, esquistos, gravacas, tufos metamorfoseados, chert en formaciones ferríferas.

La litología es complicada debido a la presencia de un fuerte metamorfismo originándose cuarzo, clorita, sericita, esquistos, biotita, estaurolita y granate entre otros.

La formación Sabará tiene una topografía ondulada, con ligeras elevaciones sobre granito adyacente. Algunas gravacas y cuarcitos forman crestas bajas.

El interés económico de ésta formación es reducido.

Serie Itacolomi: Esta serie constituye la parte superior del complejo de rocas pre-Cámbricas del Cuadrilátero Ferrífero. El límite de ésta serie se encuentra fuera del Cuadrilátero Ferrífero, donde la superficie de erosión constituye la topografía actual en su límite superior. Fuera del cuadrilátero ferrífero, las formaciones que tienen relación con la serie Itacolomi forman parte de la serie metamórfica pre-Cámbrica, serie Lavras cuya localidad tipo queda en los alrededores de Lavras Diamantinas en el Estado de Bahía.

Las cuarcitas de la serie Itacolomi son rocas predominantes casi siempre groseras, constituida esencialmente por cuarzo y mica blanca.

El contenido de fierro va desde delgadas películas de hematita marcando planos de estratificación espaciadas muchos cms. hasta cantidades mayores capaces de dar a la roca una tonalidad cintada siendo este caso más raro. En Itacolomi y en otros lugares son comunes las estratificaciones cruzadas.

Esta serie es cortada localmente por diques de rocas básicas y ultrabásicas metamorfoseadas.

El espesor de la serie es difícil estimar debido a las complicaciones estructurales que en ella se presentan; sin embargo se puede afirmar que ella es considerablemente más espesa que otras formaciones cuarcíferas de la región, y seguramente sobrepasa los 1,000 m.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Tipos de Rocas.-

Rocas Ácidas: Las rocas graníticas del cuadrilátero ferrífero pueden ser divididas en 3 grupos con diferentes edades de intrusión. Una cuarta edad mixta fue encontrada por la presencia de algunas muestras. Es sabido que fuera de ésta área hay por lo menos otra edad de intrusión de granito y dos de pegmatitas.

Las rocas ácidas que afloran son:

- 1) Granodiorito de Engenheiro Correia.
- 2) Granodiorito de Itabirito.
- 3) Granito de Itabira.
- 4) Granito de Cachoeira do Campo.

Esta rocas pertenecen a las rocas ácidas de edad conocida.

Entre las rocas ácidas de edad hasta hoy desconocidas tenemos:

- a) Granito del este del Vale do Paraopeba.
- b) Granodiorita de la región de Congonhas.
- c) Granito de Caeté.

1) Granodiorito de Engenheiro Correia: Es la roca más antigua de América del Sur, tiene aproximadamente 2,510 millones de años.

En sección delgada la roca tiene 45% de oligoclás, 10% de feldespato potásico, 36% de cuarzo, 6% de biotita y como accesorios magnetita, apatita, epidoto y sericita.

2) Granodiorito de Itabirito: Tiene una edad de 1340 millones de años.

Los análisis de ésta roca arrojan: 17% de Microclina, Ortoza 13%, Cuarzo 35%, Plagioclasa 26%, Biotita 6%, Epidota 2%, Muscovita 3% y algo de clorita, granate y zircón.

3) Granito de Itabira: Tienen una edad de 500 millones de años y ocurre en la mayor parte del área oriental del Cuadrilátero Ferrífero.

Existen por lo menos dos facies principales de éste granito: un gnéissico y un cuarzo monzonítico.

La composición mineral del gneiss granítico varía de lugar en

PROMOCION 1965

lugar, teniendo como variaciones en los porcentajes, los siguientes:

Oligoclás	10-35%
Feldespató potásico	15-35%
Cuarzo	25-40%
Biotita	1.6-15%
Muscovita	Trazas-16%
Epídota	Trazas-5%
Clorita	Cero-4.5%

Como minerales accesorios se tiene: Zirconita, alunita, apatita y magnetita.

El cuarzo monzonítico tiene la siguiente composición:

Cuarzo: 30-45%. Ortoza y Microclino y albita: 45-75%, con la mitad ó más de feldespató potásico, biotita hasta 12%, con fluorita, muscovita, granate, epídota, clinozoizita, turmalina, ilmenita, clorita y posiblemente magnetita como accesorios.

4) Granito de Cachoeira do Campo: Este granito tiene edad de 720 á 760 millones de años, más éste resultado es una consecuencia probable de la pérdida de argón sufrida por la biotita de las rocas pertenecientes al granito de Itabirito durante la orogénesis de 500 millones de años.

La composición de ésta roca es la siguiente, según Johnson:

Cuarzo	34%
Microclino	9.4%
Oligoclás	50%
Biotita	5.6%

Granitos de edad desconocida: Estos granitos se encuentran al este del valle de Paraopeba y al oeste de sierra da Moeda y no han sido estudiados al detalle. Según Guild, son rocas de coloración clara y granulación media, compuestas de 30-35% de cuarzo; 30-36% de plagioclasa y microclino; 5-15% de biotita y muscovita hasta 5%; teniendo como minerales accesorios epídota y titanita.

Rocas Ultrabásicas: De acuerdo con Dorr i Barboza, las rocas básicas y ultrabásicas alteradas, intrusivas de la Serie Rio das Velhas, son las rocas intrusivas más antiguas del distrito de Itabira.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Estas rocas son encontradas en forma de roca descompuesta, serpentina, talco, anfibolito, talco-clorita, tremolita-esquistito y actinolita-esquistito.

Barboza señala que las masas ultrabásicas cerca a Congonhas controlaron la localización de granodiorita y por eso deben ser más antiguas que aquellas rocas.

Estas rocas son encontradas en todo el Cuadrilátero Ferrífero, entre las rocas de edad de Río das Velhas.

Rocas Básicas: Diques no laminados de composición diabásica ó gabrítica son comunes en todo el Cuadrilátero Ferrífero y son encontrados cortando a otras rocas eruptivas y metasedimentarias más antiguas.

Gair dá la siguiente composición de ésta roca:

Plagioclasa	50-65%
Pigeonita	20%
Clorita	5-15%
Magnetita	5-10%

Como minerales accesorios se tiene ilmenita y titanita hasta 10% en algunas rocas. Guimaraes usó el término "anfobolito diabasoide" para definir éste tipo de roca.

Estructura y Evolución Estructural del Cuadrilátero Ferrífero.-

La estructura es realmente compleja. El área está plegada en grandes anticlinales y sinclinales, muchos de ellos invertidos y las rocas dislocadas por fallas normales e inversas. El área fué afectada por un mínimo de 2 grandes orogénesis, y probablemente cuatro.

En las partes orientales y central del Cuadrilátero Ferrífero la discordancia estructural entre la serie Minas y las rocas más antiguas no están acentuadas como en la parte occidental.

Es probable que la mayor orogenia pre-Minas este relacionada con el granito de 1350 millones de años, porque éste granito es intrusivo de dos rocas de la serie Río das Velhas.

Después de la sedimentación de la serie Minas que fué quebrada por un ligero movimiento epirogénico al fin de la época

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Itabira, tiene lugar un plegamiento menor, antes de la sedimentación Itacolomí con una erosión en escala desconocida. Algún tiempo después de la deposición de la serie Itacolomí, las rocas sedimentarias fueron fuertemente plegadas, metamorfoseadas y cortadas por el granito de 550 millones de años. Un acentuado hundimiento plástico de la serie Minas indica que estas rocas fueron probablemente deformadas en gran profundidad. Hasta las cuarcitas macivas de la formación Moeda fueron plegadas en isoclinales recumbentes en la serra do Caraca.

El Itabirito Cane se espesa abruptamente y dobla ó triplica su espesor normal en las regiones "axiales" de mayores anticlinales y sinclinales, y contrariamente se adelgaza en los flancos de mayores plegamientos.

En muchos lugares las rocas de la Serie Minas están dislocadas por fallamiento normal. Algunas de éstas fallas que tienen una dirección general este-oeste tienen un desplazamiento de más de 600 m. No hay prueba directa de la edad de esas fallas normales, más parece razonable admitir que ellas están en conexión con las fases de la orogenia ~~pos Minas~~.

Una concordancia generalizada de picos y montañas a una elevación de cerca de 1300 a 1500 metros de altitud en toda la región y en áreas adyacentes sugiere que se haya desarrollado en ésa roca un vasto "peneplano".

Existen algunos depósitos sedimentarios con lignito y sedimentos carbonosos, como por ejemplo aquellos próximos a la Hacienda Gandarela, y que tiene plantas fósiles asociadas al Plioceno ó Mioceno.

El origen de éstos depósitos sedimentarios puede atribuirse a que fueron lagunas de hundimiento en las cuales la vegetación se acumuló.

Metamorfismo.-

Metamorfismo del pre-Cámbrico Anterior: Los sedimentos pre-Cámbricos primitivos son apenas conocidos en la región de Engenheiro Correia.

Las muestras más conocidas se encuentran cerca de 1.5 km., al norte de la villa, en el lecho del riachuelo Sardinha.

En el riachuelo Sardinha, finos lechos de gneiss altamente cuarcíferos, con granos gruesos de cuarzo y feldespato potásico, están intercalados con gneiss cuarzo-feldespático de granulción más fina. En lámina delgada el cuarzo constituye 80% ó más de la roca, y es **altamente** estirado y fracturado.

La microclina es posterior y sustituye minerales primitivos. El oligoclás está ligeramente sericitizado, y la biotita, muscovita y clinozoisita completan el conjunto.

Las rocas de composición química más básica fueron aparentemente metamorfozadas en cuarzo-grante-anfibolitos.

Metamorfismo del pre-Cámbrico Medio: La Serie Río das Velhas fué depositada en una superficie de erosión del pre-Cámbrico anterior, entre 2500 a 1350 millones de años.

Actualmente estos sedimentos son largamente distribuidos en el área del Cuadrilátero Ferrífero.

Las rocas "Río das Velhas" sufrieron una extensa granitización y metamorfismo de contacto, por la intrusión de hace 1350 millones de años, y fueron también posteriormente afectados por la intrusión de hace cerca de 500 millones de años. Las rocas de la serie Río das Velhas muestran generalmente el más bajo grado de metamorfismo a través de toda el área de afloramientos, excepto en las proximidades de ocurrencia de medio ó del último del pre-Cámbrico. La paragénesis más típica es cuarzo-sericita-clorita, no obstante Gair notó también rocas con porcentajes variados de minerales carbonáticos, óxidos de fierro, grafito y más raramente feldespato, biotita y anfíbol. Las ocurrencias de minerales de metamorfismo de más alto grado, biotita y hornblenda son considerados anómalos, y posiblemente relacionados a intrusiones locales de rocas básicas, ó a la abundancia de agua durante el metamorfismo regional.

Metamorfismo del pre-Cámbrico Posterior: La serie Minas fué aparentemente depositada sobre la superficie de erosión del pre-Cámbrico medio después de la orogénesis de 1350 millones de años.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

La edad posterior a 1350 millones de años está indicada por la falta de efectos de contacto de granitos de la serie Minas, en la parte sur este del cuadrado Cachoeira do Campo y en otros lugares.

En la intrusión y orogénesis de hace cerca 500 millones de años, esas rocas sufrieron un metamorfismo de bajo grado. En ciertos puntos ocurrió una granatización y metamorfismo de contacto, tan elevados como el grado de la estauroлита.

Los investigadores concuerdan que las rocas de la serie Minas, en la mayor parte del Cuadrilátero Ferrífero fueron apenas ligeramente metamorfoseadas.

La granatización y el grado de metamorfismo crecen para el este, particularmente en los distritos de Itabira y Monlevade.

El metamorfismo progresivo hasta el campo de la estauroлита parece ser un fenómeno común, donde la parte superior de la serie Minas está en contacto con el granito más nuevo del pre-Cámbrico. En muchos lugares, próximo a la serie Minas, especialmente al oeste de Serra de Moeda, se encuentra cianita y turmalina.

La andalucita ha sido encontrada también en la aureola de contacto de los granitos más nuevos. En el cuadrado de Belo Horizonte fué encontrada en filones con cuarzo y muscovita en la formación Sabará, próximo al granito. En las cercanías son encontrados cruzamientos de filones con coridón (Sáfiro) y feldespató-mucovita.

El metamorfismo de contacto térmico y la actividad hidrotermal fueron fenómenos comunes. No se desarrolló ningún metamorfismo regional de alto grado.

En general, las rocas sufrieron los efectos de un metamorfismo bajo, excepto donde el efecto de contacto eleva éste metamorfismo hasta la alteración del anfibólito.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Origen y Naturaleza de los yacimientos Ferríferos.-

Los minerales de fierro de Minas Gerais son derivados a través de diferentes procesos supérgenos e hipógenos de itabirito.

La mayor parte de las reservas en potencia actualmente comerciales son derivadas de Itabirito Caue, y los volúmenes relativamente menores son derivados de la formación Gandarela.

El mineral inclusive el no utilizable puede ser dividido en 3 grupos principales: Itabirito blando, hematita de alto tenor y ganga. El mineral de hematita a su vez puede ser dividido en dos categorías: Hematita dura (compacta) y Hematita blanda (friable).

Itabirito blando: Este tipo de mineral no es considerado comercial. No obstante, muchas veces el mineral rico en hematita está cubierto por el itabirito blando, es necesario primero extraer ese itabirito para alcanzar mineral comercial. Son grandes los depósitos de éste material, y la roca es tan fácil de ser trabajada y concentrada, que pronto será utilizada comercialmente.

El itabirito blando proviene del itabirito compacto por efectos de intemperismo. El ablandamiento en su mayor parte es debido a la lixiviación supérgena de cuarzo del itabirito compacto, lo cual se prueba por lo siguiente:

- 1) El ablandamiento está acompañado por enriquecimientos residual. En general cuanto más próximo a la superficie actual, mayor es la concentración en fierro.
- 2) El itabirito blando se encuentra generalmente en antiguos depósitos de talud, ó solos pero enterrados.

Estos grandes bloques de itabirito blando eran compactos cuando se acumularon, y se tornaron blandos después de la deposición.

El itabirito fué ablandado en ciertos sitios hasta más de 200 metros de profundidad. Considerando una profundidad media de 50 metros para el itabirito blando, existe por lo menos 23 billones de toneladas utilizables en el Cuadrilátero Ferrífero.

El contenido de fierro de itabirito blando varía de 35% a

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

65%; teniendo como impureza importante cuarzo.

El itabirito blando puede ser concentrado por varios procedimientos, resultando un producto con ley de 65% de fierro.

Hematita de alto tenor: Los minerales de alto % en hematita muestran muy pequeña variación de procesos hipógenos metasomáticos durante el metamorfismo de la serie Minas.

Las masas de valor económico del mineral rico en hematita ocurre solamente en el grupo Itabira de la serie Minas, y en raras excepciones en Itabirito Caue.

Las masas de mineral varían de 1 kg. hasta 200 millones de toneladas, y de largo de algunos cms. hasta 3 kms., con espesores desde 1 cm. hasta de 400 metros.

Este mineral presenta de 66% á 69% de fierro, con un tenor medio de 68%. El cuarzo es genralmente la única impureza de importancia; pero en la parte oeste del Cuadrilátero Ferrífero, el aluminio está presente hasta en más de 2%. En ciertas partes de depósitos pequeños, cantidades de talco y actinolita pueden ser encontradas. La presencia de turmalina fué encontrada en un depósito. Un pequeño grado de piritita fué vista en magnetita de alto tenor en el yacimiento Jangada. El contenido de fósforo está normalmente entre 0.02 y 0.005%.

La sustitución de cuarzo de itabirito por la hematita fué metasomática, según lo demuestra las continuidades de las laminaciones y otras estructuras. Esa sustitución metasomática no siempre fué completa. En algunas partes de las masas de mineral de alto tenor de hematita, existen pequeñas cantidades remanentes de cuarzo.

Por ser las rocas esquistosas de alto tenor en hematita, en muchas partes del Cuadrilátero Ferrífero, está claro que la sustitución tuvo lugar antes de finalizar los procesos de metamorfismo, es decir que se formaron durante el mismo metamorfismo.

El mineral denso, con pequeña permeabilidad y porosidad se conserva próximo a la superficie como hematita compacta y la parte más porosa de la masa se desgregan en mayor ó menor extensión, dependiendo la estructura y evolución fisiográfica.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

Ganga: Puede ser definida como porosa, por demás resistente que se forma próxima ó en la superficie terrestre, y que es constituida por fragmentos detríticos de rocas, comunmente hematita ó itabirito cimentados por una matriz de limonita porosa. Localmente, la ganga puede constituirse de limonita casi pura.

Disminuyendo el porcentaje de limonita, la ganga pasá a laterita ferruginosa.

La matriz de la ganga de limonita proviene del intemperismo sufrido por rocas altamente ferruginosas como el itabirito. Una de las condiciones esenciales para la formación de la ganga, parece ser un medio donde la lluvia sólo caiga en ciertas épocas del año, ya que la ganga no se forma en ambientes constantemente húmedos. Otro factor esencial es que el clima sea tropical ó sub-tropical.

Una de las hipótesis del origen de la ganga supone que soluciones con pequeña cantidad de fierro lavado de las rocas ferruginosas por el agua de la superficie, penetra en la formación ferrífera durante la época de las lluvias. El fierro de éstas soluciones es posteriormente depositado sobre ó próximo a la superficie, cuando el agua se evapora durante la extracción seca.

La migración de las soluciones pueden ser verticales ó laterales.

Más de 100 km² en el Cuadrilátero Ferrífero están cubiertos con ganga, cuyo espesor es a veces de 10 metros ó más. El espesor medio no es conocido, más probablemente no es mayor que un metro ó dos. Las reservas totales de ganga no han sido calculadas, más se estima en por lo menos en varias centenas de millones de toneladas. El tenor varía en fierro entre 45% y 65%, siendo la media de 53%. Las principales impurezas de la ganga son: sílice, alúmina y fósforo. El fósforo tiende a concentrarse en la ganga, pudiendo alcanzar más de 0.1%.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Teorías sobre el Origen de los sedimentos ferríferos.-

Los dos tipos más importantes de sedimentos de fierro desde el punto de vista económico son:

- 1) Itabirito de Brasil.
- 2) Taconitos del Lago Superior en Canadá y Estados Unidos.

Otros grandes depósitos son: Clinton, al oeste de Estados Unidos, Minnetes, de Alsacia-Lorena; y de Fierrooolítico bién como BOG ORES y como camadas de Carbonato de Fierro.

Las camadas sedimentarias que contienen Fe son llamadas comunmente Formación de Fierro. James lo define como: "Sedimentos de precipitación química, típicamente laminados con 15% de mineral de fierro de origen sedimentario, comunmente conteniendo Chert en camadas. Algunos elevan éste límite para 25% ó 35%.

Teorías sobre el origen del fierro sedimentario: Varias teorías han sido discutidas para la explicación de los procesos de acumulación y formación de fierro sedimentario, destacándose cuatro principales:

1ra. Teoría.- Van Mize y Leith: El fierro y la sílice son productos del volcanismo, siendo originados de fuentes magnéticas que los lanzaron al fondo del mar.

Ciertamente, en muchos lugares las actividades volcánicas tuvieron lugar durante la acumulación de fierro.

Las aguas termales asociadas al volcanismo son una gran fuente de Fe en solución. Los grandes depósitos de Urucum, en M. Grosso (Brasil) no presentan ninguna relación con el volcanismo; a pesar de esto, en el Cuadrilátero Ferrífero hay buenas evidencias de actividad volcánica.

2da. Teoría.- La sílice y el fierro son originados de la disolución de masas continentales próximas a los mares, donde fueron depositados rítmicamente, muy probable como consecuencia de las variaciones de las estaciones en la composición del agua.

La precipitación puede haber sido formada directamente de las soluciones conteniendo Fe y Si, ó por agentes orgánicos.

OOR y MAY concluyen que en presencia de materia orgánica el

RAUL RZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

agua puede extraer Fe y Si de las rocas, para formar depósitos.

Créese que la formación de los depósitos de Fierro representa un sedimento epicontinental, de precipitación química a partir de agua fría de mar de la superficie terrestre, y que fueron reducidas al último límite de una planicie más elevada.

El Bandeamiento se explica por la deposición cíclica de coloides, debido a la variación de p.H. La sílice y el fierro son productos de intemperismo. Los nódulos de sílice encontrados son de Chert, surgiendo en clima tropical. El exámen de grado de sílice y de los residuos pasados muestran que el material no tiene características de sedimentos mecánicos.

3ra. Teoría.- DUNN - TUFOS FERRUGINOSA: Las camadas originarias de la "formación fierro" eran originalmente paquetes de tufos ferruginosos de fina granulación, los cuales fueron rápidamente oxidados.

Las camadas fueron silicificadas más ó menos contemporáneamente con la deposición, sobre condiciones de acciones de soluciones parcialmente magmáticas, que ocasionaron la formación del Jaspe y del Chert. La formación del chert está determinada por la baja temperatura de deposición.

La temperatura más alta en la época de deposición ocasiona la formación del Jaspe. Las camadas que fueron silicificadas son ahora representadas por fillitos, películas cloríticas ferruginosas o carbonatadas, muchos de los cuales originaron los tufos.

La silicificación resulta de la actividad hidrotermal que acompaña a la formación de rocas volcánicas. El fierro se deriva de la oxidación de los tufos "insitu", ó del lavado de los mismos.

4ta. Teoría.- H.L. JAMES - Teoría de BACIAS RESTRITAS: (cuencas pequeñas)

El bandeamiento representa la acumulación en lagunas parcialmente pequeñas, siendo que la precipitación y otras características de los sedimentos fueron controlados por condiciones oxireductoras.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

En ésta teoría se distinguen 4 fases existentes en el depósito de fierro del Lago Superior:

- 1) Sulfatos
- 2) Carbonatos.
- 3) Oxidos.
- 4) Silicatos.

La deposición fué controlada largamente por el potencial de oxireducción, ocurriendo en pequeñas lagunas separadas del mar.

- 1) La fase de sulfato está representada por láminas negras resistentes, piritíferas (40%), conteniendo C libre (5-15%).
- 2) La fase carbonatos se representa por camadas ricas en carbonatos, chert y fierro.
- 3) La fase de óxidos se representa por 2 tipos: Hematita y Magnetita ambas de origen sedimentario.
- 4) La fase silicatos contiene uno ó más hidrosilicatos de fierro: Greenalita, Minesotorita y Clorita como mayor constituyente.

Mineral de fierro oolítico: De incuestionable origen sedimentario, más que de otro origen diverso, el bandeamiento de la "formación fierro" es de minerales oolíticos, encontrados en varias partes del mundo.

En ciertas rocas, los oolitos son bastante abundantes, constituyendo casi la totalidad de la misma. En otras rocas son numerosos, más se encuentran dispersos.

Los oolitos son constituidos de los siguientes minerales:

- 1) Hematita
- 2) Limonita
- 3) Siderita
- 4) Chamosita (oxi aluminato silícico de Fe y Hg hidratado).

Un ejemplo de éste tipo de depósito está representado por la Formación Clinton (New York), que está constituida de arenito ferruginoso en finas camadas, y oolitos hematíticos. Existen fósiles abundantes, la mayoría de origen marino, presentándose en varios niveles conglomerados.

El fierro fué acarreado por la vertiente marina, simultá-

neamente con otros sedimentos, sustituyendo conchas y otros fragmentos de organismos.

El transporte fué hecho por aguas aciduladas de ríos con p.H. menor que 7, que permitió su transporte (en estado ferroso). Estas aguas en contacto con CO_3Ca dá una précipitación de óxido férrico, debido a la presencia de oxígeno.

Depósito de camada negra: Son mundialmente distribuidos y conocidos como minerales de camada negra, consistiendo en sedimentos carbonatados, incluyendo a la Siderita. Presentan un bajo tenor y por ésta razón los esfuerzos para el laboreo no han dado provecho económico. Como ejemplo se tiene los depósitos de Alemania e Inglaterra.

BOG ORE DEPOSITS: Son denominados también "Depósitos de Lama-cal", y están formados por pequeños lodazales de lagos. Son depósitos pequeños y locales, donde el fierro se deposita en forma de hidróxido ó carbonato ferroso, que en ausencia de materia orgánica, se oxida rápidamente pasando a óxido férrico.

Es un mineral en parte terroso, y en parte firme y poroso.

El tenor es bajo, conteniendo mucho fósforo e impurezas; es por esto que tiene poca importancia económica.

Uno de los pocos ejemplos de depósitos explorables es el depósito KUCHAN, en Hokkaido (japón).

CAPITULO VIIIEXPLOTACION Y BENEFICIO DEL MINERAL DE FIERROPerú: Marcona Mining Company.-

A.- Resumen: Localizados en pleno desierto, pero en una ubicación privilegiada, los depósitos de Marcona eran virtualmente desconocidos hasta 1952.

Exploración geológica completa efectuada durante los últimos diez años ha probado que la oxidación y el intemperismo han causado alteración en el tipo de minerales presentes. Esta variación depende de la profundidad. Pero la gran mayoría de los minerales tiene un alto contenido de azufre que los hace no-económicos tales como se les encuentra en el terreno.

Pruebas metalúrgicas demostraron que los minerales de las zonas profundas de Marcona pueden ser sometidos a un tratamiento que los convierte en productos comerciales.

Frente al requerimiento siempre más exigente de los compradores en lo referente a especificaciones físicas y químicas del mineral la Marcona Mining Company decidió instalar una planta de beneficio capaz de impartir a los minerales provenientes de las minas que explota, el más alto grado de pureza conocido actualmente. El costo de la planta fué de \$ 50 millones.

Aplicando métodos por gravedad, magnéticos y por pelletización la planta de San Nicolás produce cuatro tipos distintos de mineral de hierro para uso en Altos Hornos ó bien en hornos de sinter, y como consecuencia ha asegurado larga vida al distrito minero de Marcona.

B.- Explotación: Tipo: Tajeo a cielo abierto, con gradines de altura variable desde 4 metros hasta 12 metros aplicables según el grado de selectividad que se quiera dar al producto que se extrae.

Radio de extracción: 1 desmonte por 1 mineral.

Angulo de profundización de los tajos: 48°.



Fala eléctrica de P.H. de 6 c.y.



Vista parcial de la mina # 5, donde se puede observar el sistema de gradines variables usados en la explotación.



Operación de cargado con ANFO para disparo en la mina # 5, banco D.



En la vista inferior se puede observar el producto de un mal disparo.



Camiones de 40 y 42 c.y. usados para el carguío de mineral en el área de la mina.

RAUL RZO PATRON B.

facultad de minas

PROMOCION 1965

Después de la Operación Stripping o Desencapado tenemos que considerar las etapas que son la Perforación, el Disparo ó Voladura, la Extracción y Acarreo, la Molienda y Zarandeo y finalmente el transporte a San Juan ó a San Nicolás para su tratamiento y embarque final.

Para dar una idea aproximada del volúmen de la operación diremos que durante el mes de Junio 1965, por ejemplo se movió un total de material de 1'445,500 toneladas de las cuales 1'370,300 fueron removidas por personal y equipo de la Compañía y 75,200 fueron removidas por un contratista. El 1'370,300 de toneladas removidas correspondió a 1'074,900 extraídas de las diferentes minas o pits y 295,400 toneladas de stocks de canchas formadas desde hace algún tiempo atrás.

De ésta producción total mensual 783,500 toneladas fueron molidas en las Chancadoras de los cuales el 45.7% pasó por la Chancadora N° 1 y el 54% pasó por la Chancadora N° 2.

Para efectuar ésta operación se contó con el siguiente equipo:

PALAS:

5- P & H 1600	6 yd.	Electrics.
3- Manitowoc 4500	4 1/2 yd.	Diesels.
7- Northwest 80D	2 1/2 yd.	Diesels.

PERFORADORAS:

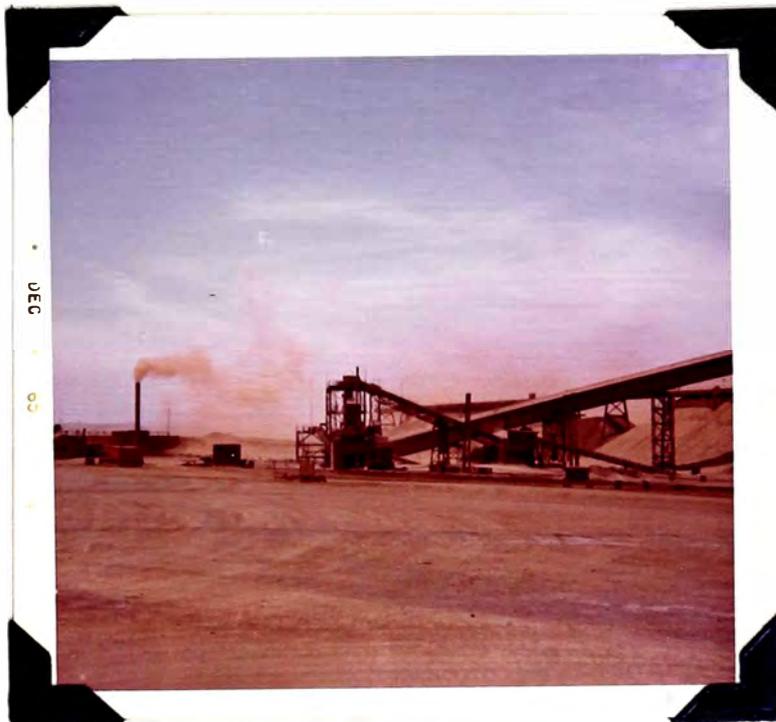
3- Bucyrus Erie 40 - R	Electric
1- Quarry Master QM-2	Electric
2- Quarry Master QM-2	Diesel
1- Joy 60 BH	Electric
1- Joy 58 BH	Diesel
2- Gardner Denver Air trac drills	
6- Joy diamond Drills	
2- Caterpillar mounted exploration drill	
1- Truck mounted exploration drill	

CAMIONES:

13- Haulpaks 65 ton. cap.
3- Euclids 9 FFD 40 Ton.
12- Euclids 1 FFD 32 ton.



Vista parcial de la planta # 2 para tratamiento de mineral primario.



Planta mina # 1 para el tratamiento de mineral B.F.O. y H.M.S.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

- TRACTOR:
- 5- Kenworths 803 32 Ton.
 - 4- Caterpillar D-9 dozers.
(2 equipped with hyd. rippers).
 - 5- Caterpillar D-8 dozers.
 - 3- Michigan 380 dozer.
 - 1- Michigan 130 dozer.

EQUIPO VARIOS:

- 4- Caterpillar DW-20 scrapers.
- 1- Michigan 175-A loader.
- 1- 80 Ton. low boy trailer with tractor.
- 8- Portable compressors.
- 24- Service vehicles, pickups.
- 1- P & H 40 ton. mobil crane.
- 1- Austing Western 8 ton. mobil crane.
- 1- Fork lift clark 2 1/2 ton cap.
- 2- Caterpillar model 12 motrograder.

C.- Beneficio: Dos Plantas de Molienda y clasificación de stocks de mineral son las que cubren las necesidades de producción diaria de mineral en la mina.

En la Planta de Molienda o Chancadora N° 1 se muele actualmente todo el mineral de embarque director ó Blast Furnace Ore (BFO) que comprende los minerales llamados tipo Able, alto, Azufre y Heavy Separación (HMS).

En la Planta de Molienda ó Chancadora N° 2 se trabaja todo el mineral primario que sale principalmente de Minas 5 y 2; ó sea los minerales llamados: Coarse grind, Fine Grind, Direct Sinter Ore.

Planta de Molienda N° 1: Esta provista de Chancadora primaria tipo quijada Birdsboro que pasa hasta 1,200 toneladas por hora accionada por motor de 300 HP.

El mineral molido por ésta chancadora pasa por una faja de 60" hasta una torre de zarandeo provista de dos zarandas Stephens Adamson de 6' x 8'.

El material de menos de 1/2 pulgada pasa a stock de finos; el material de + 1/2+ y - 4" pasa a los stock de mineral de donde se alimentará a 12 camiones kenworths de 80 toneladas que lo



Vista de la planta de pellets, la cual tiene una producción de 1'000,000 Toneladas anuales.



Muelle de San Nicolás, que tiene una longitud de 300 metros, y que está acondicionado para recibir barcos hasta de 100,000 toneladas.

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

llevarán al Top Conveyor y de allí por faja hasta unas tolvas ubicadas a kilómetros del puerto de San Nicolás.

El material mayor de 4" es recirculado a través de una chancadora secundaria Nordberg 7' Standard Symons, con capacidad de 1,000 toneladas por hora.

Planta de Molienda N° 2: Provista de Chancadora primaria giratoria 4-C Superior 48" x 74" con capacidad de 2,600 toneladas por hora y accionada por motor 500 HP, y dos chancadoras secundarias Nordberg 7' Standard Symons con capacidad de 1,200 toneladas por hora y motores de 300 HP.

Muele todo el material a dimensiones - 4 pulgadas que pasa a los stocks piles de donde es acarreado por la misma flota de camiones contratistas mencionados en Planta de Molienda N° 1. Este material ya clasificado es tratado en San Nicolás en las diversas plantas, según la calidad y tipo de mineral. Allí se tiene a grandes rasgos una planta H.M.S., una magnética y una de pellets.

D.- Personal:

Exploración y Explotación	:	685
Transportes	:	375
Beneficio y Laboratorios	:	524
Despachos y Embarques	:	96
Electricidad	:	143
Administración	:	488
Construcciones	:	95
<u>TOTAL</u>	:	2,406

Brasil: Mina de Casa de Pedra.-

A.- Ubicación: El depósito Casa de Pedra, gran abastecedor de Volta Redonda, está situado al noroeste de la ciudad de Congonhas do Campo, estado de Minas Gerais. Este cuerpo mineral es el mayor conocido en todo el distrito.

El depósito está comprendido entre colinas que alcanzan 1,400 metros por un lado y 1,600 por otro.

B.- Historia: La mina se comenzó a trabajar desde Enero de 1911 por la firma A. THUM & Cía.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

En 1931 es inaugurada la primera línea de transporte aéreo, siendo el mineral exportado para Europa. Con motivo de la Segunda Guerra Mundial, se exportó a Canadá, Estados Unidos e Inglaterra.

En 1949 el Gobierno Federal desapropió la mina en favor de la Compañía Siderúrgica Nacional.

C.- Geología: Las formaciones de Casa de Piedra pertenecen al grupo Itabira de la Serie Minas, compuesto de una formación dolomítica superior, con cerca de 40 m. de espesor (Formación Gandarela); y una formación de fierro (Formación Caué), con un miembro itabirítico de poco más de 40 m. de espesor y un miembro hematítico con cerca de 90 m. de espesor.

El cuerpo mineral está situado en la nariz de un anticlinal que tiene sus flancos orientados al este-oeste y noroeste su-reste respectivamente.

La mina comprende un área de 1200 m. de largo por 400 m. de ancho, con una diferencia de nivel de 190 m.

La ganga y la limonita envuelven todo el depósito.

Los tipos de mineral se pueden clasificar en:

Mineral especial	3" á 6"
Mineral común	1/4" á 3"
Mineral fino	- 1/4".

El tipo especial es destinado a la fabricación del acero; es un mineral duro, que contiene de 68 á 70% de Fe, 0.35% de Si, 0.35% de Al_2O_3 y porcentajes más bajos en P.

El mineral común se compone de partes lixiviadas de hematita; su porcentaje en sílice es más elevado.

El tipo fino contiene tenores de 67% de Fe.

Las reservas de mineral en el año 1956 se estimó en 44 millones de toneladas de mineral probado con una ley de 67% de Fe.

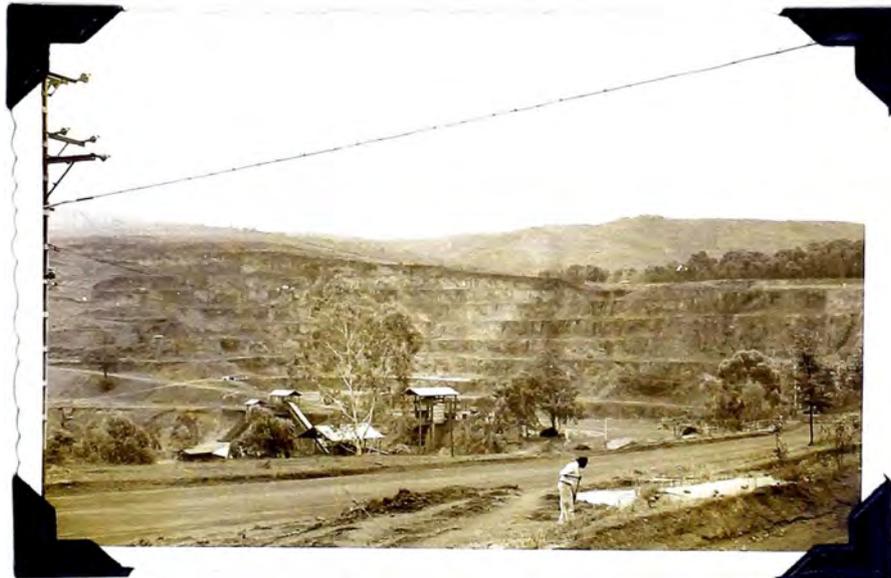
D.- Explotación: La explotación se inició en el lado este, donde era más accesible el mineral, y la concentración mayor. La explotación se hace a cielo abierto por medio de bancos, que tienen una altura de 13 m., y su ancho mínimo medio 18m. Actualmente existen 12 de éstos bancos.

1) Perforación: El número de taladros es de 15 á 25. La línea de taladros a lo largo del lado del banco es usualmente



Se puede observar en la foto, la influencia que tiene el clima en el desarrollo del "OPEN PIT".

El piso inferior se encuentra totalmente inundado, teniendo que ser extraída el agua con bomba por una galería subterránea.



En la vista inferior se puede observar claramente la distribución de bancos.

RAUL RZO PATRON B.

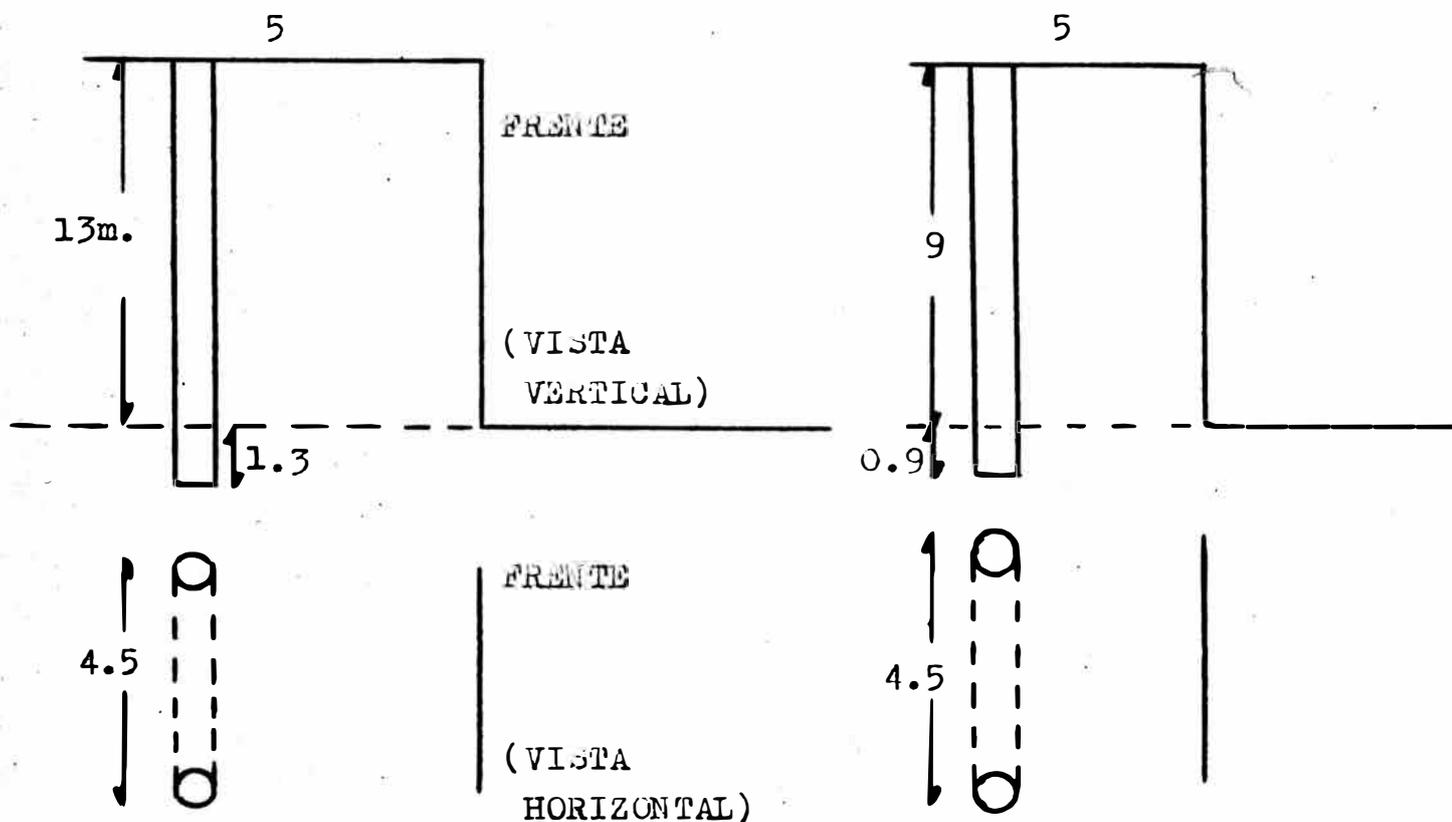
PROMOCION 1965

uno, siendo algunas veces más. La distancia entre taladro y taladro es de 4.5 m. La distancia de un taladro al lado del banco es 5 m.

Hay dos clases de bancos, unos llamados Cuerpo Principal, que tienen 13 m. de altura y otro llamado Cuerpo Oeste que tienen 9 m. La sobreperforación es aproximadamente 10% de la profundidad del banco, y el diámetro del taladro es 23 cm.

CUERPO PRINCIPAL

CUERPO OESTE

Equipo usado:

Perforadoras Churn Drill - Bucyrus Erie Co. (3)

Diámetro de la broca: 15.24 cm.

Número de golpes: 55 por minuto.

Velocidad media de perforación: 1.08 m/hora.

Velocidad máxima de perforación: 3 m/hora.

Para disparo secundario se usan las siguientes máquinas:

Wagon Drill (FM - L Type) Ingersoll Rand Co.

Jack hammer - Ingersoll Rand Co. (100 lbs/pulg²).

Número de taladros por mes considerando 275,675 lbs.:

Separación de taladros: 4 m.

RAUL REO PATRON B.

PROMOCION 1965

Distancia al frente: 5 m.

Profundidad media: 13 m.

Densidad del mineral: 4

Toneladas por taladro: 1,440 Tn.

Número de taladros necesarios: $\frac{275,675}{1,440} = 192/\text{mes}$ 2) Disparo:a) Explosivos usados: Gelatina especial 40%

Gelatina de alta velocidad 40%

Nitrato de amonio/Fuel Oil : 95/5

b) Accesorios:Detonador común, eléctrico, lento y
arrancador de detonación.

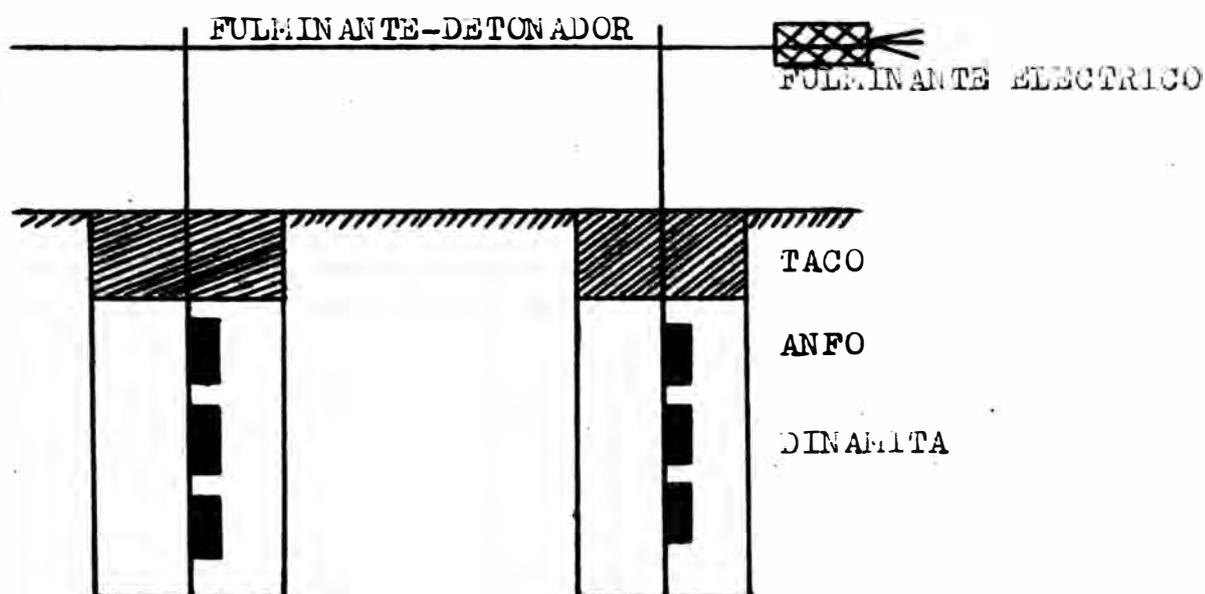
Fulminantes "Black Elephant"; hidráulico y fulminante detonador.

Promedio mensual de consumo de explosivos:

ANFO: 14,390 Kgs/mes

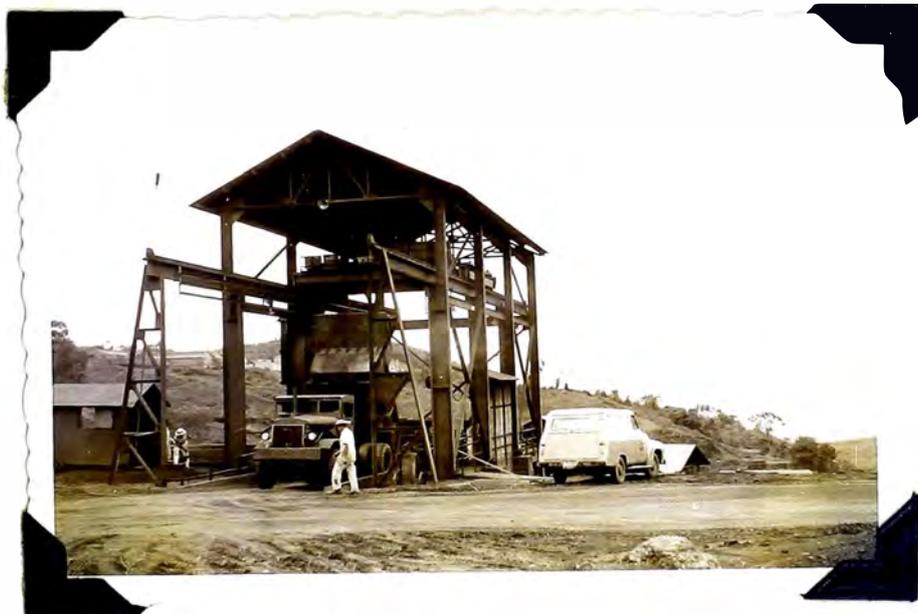
DINAMITA: 3,140 kgs/mes.

La cantidad de Anfo empleado en los taladros es de 120-130 gr. por tonelada. La cantidad de dinamita es por lo general 10% del Anfo empleado.





En la vista se puede observar el resultado de un desarrollo sin planeamiento. Camiones tienen que esperar el paso de otros, por ser extremadamente estrecha la zona de acceso a la mina.



Vista parcial de la chancadora Nordberg Symons 30". Camión Euclid de 15 Tn en operación de descarga.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

La producción anual actual llega a 1'500,000 Tn.

3) Carguío:

a) Tipos de palas usadas en el laboreo:

Marca: Marion Eléctrica (2) y Marion Diesel (1).

Tipo: 93 - M de 2.5 yds³

Potencia: 150 H.P.

Marca: Bucyrus Erie Diesel

Tipo : 51 - B de 2 yds³ (2).

b) Camiones:

1) Marca: Euclid

Capacidad: 15 Tn.

H.P.: 165

Número: 10

2) Marca: Scania Vabis

Capacidad: 12

H.P.: 165

Número: 8

3) Marca: Internacional

Capacidad: 7

H.P. : 140

Número: 2

4) Marca: F.N.M.

Capacidad: 7

H.P. : 140

Número: 11

5) Marca: Chevrolet

Capacidad: 8

H.P. : 150

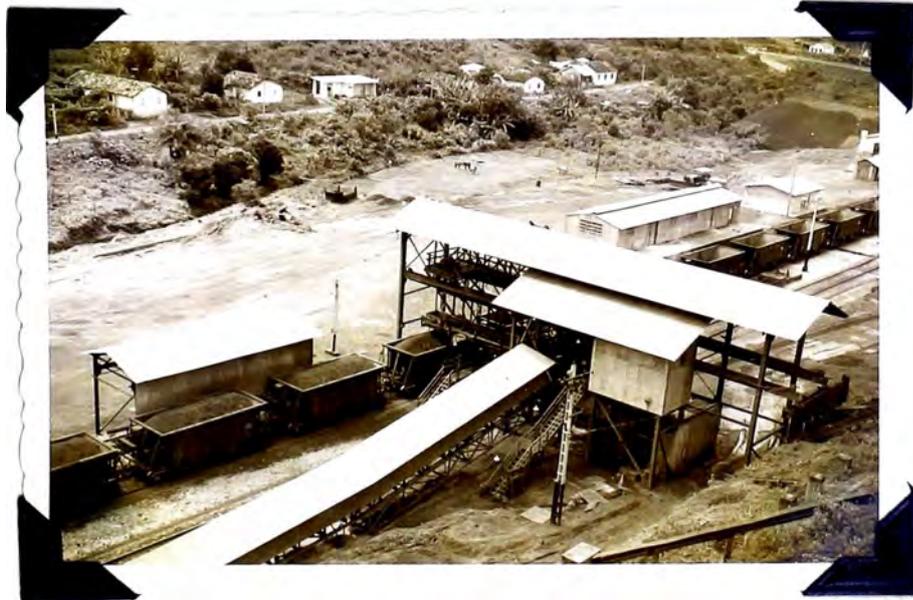
Número: 12

c) Línea Aérea:

Tipo	A	C	D
Capacidad	500 Kg.	500 Kg.	1,000 Kg.
Número	120	120	154
Velocidad	3 m/seg.	3 m/seg.	3 m/seg.
Tonelaje/hora	40-50	40-50	250-300



Estructura del cable aéreo para el transporte de mineral de la mina a la zona de stock pile.



En la vista inferior los vagones de 75 Tns. los que se encargaran del transporte de mineral a Volta Redonda (439 Kms).

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965****d) Transporte por tren a Volta Redonda:**

El carguío de vagones es automático, y se efectúa por un sistema de fajas transportadoras deslizantes (GANTRY). El carguío de un vagón de 75 Tn. lo efectúan en 4.5 minutos. La compañía cuenta con locomotoras de 150 H.P. y que tienen una velocidad de 32 kms/hora. La capacidad de los vagones es 75 Tns.

E.- Beneficio: Por ser un mineral de alta pureza, el único tratamiento que se le dá es el chancado y lavado, para así transportarlo a Volta Redonda.

Chancadora:

Marca: Nordberg Symons Giratoria.

potencia: 200 H.P.

R.P.H. : 350

Capacidad: 800 Tn/hora

Horas de uso por día : 16

F.- Aspecto administrativo de la Compañía: Sueldos pagados por la Compañía a su personal (1963):

Operarios con menos de 18 años : 14,000 - 19,000 Cr.\$

Operadores : 32,000 - 39,000 Cr.\$

Jefe de Sección : 41,000 - 47,000 Cr.\$

Técnicos : 70,000 - 103,000 Cr.\$

Ingenieros : 160,000 - 393,000 Cr.\$

NOTA: 1 dólar = 1,000 Cr.\$

Los costos de instalación totales en Casa de Pedra en 1961 llegaron a 515'654,500 Cr.\$, incluyendo obras para fines sociales.

Mina Morro Agudo (SAMITRI).-

A.- Ubicación: La mina está ubicada en el estado de Minas Gerais a 2 1/2 horas de Belo Horizonte.

El área está limitada por una poligonal irregular, teniendo un vértice la orientación 58° 29' S.E. y a 1.5 kms. de la carretera que va de la hacienda Cururú a la estación de Florealia en la vía de Ferrocarril Central de Brasil.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

B.- Historia: Los trabajos de investigación fueron autorizados el 8 de Enero de 1962 a SAMITRI, siendo dueño del terreno la Compañía Siderúrgica Belgo Minera.

Los afloramientos de mineral de fierro de la región son conocidos desde el comienzo de siglo. La divulgación de éstos yacimientos en el extranjero fué hecho por los trabajos de los geólogos de Brazilian Iron and Steel Co., principalmente C. Harder que estudió la región en 1911 para esa compañía que adquirió grandes partes del depósito. La cubicación que hizo Harder llegó a 18'000,000 de Tns.

En 1943 la Compañía Siderúrgica Belgo Minera compra a la Brazilian Iron Steel Co. las propiedades del complejo ferrífero, las cuales engloba a otras propiedades ya adquiridas.

En 1962 la SAMITRI obtiene preferencia de investigación y laboreo. Las investigaciones se concentraron en 3 cuerpos de hematita:

Cuerpo de Fico (Morro Agudo).

Cuerpo de Agua Esplayada.

Cuerpo de Agua Limpia.

Posteriormente fueron formados los departamentos de explotación y concentración.

C.- Geología- Clasificación del Mineral:

1) En cuanto al tenor de fierro:

Hematita 64% Fe.

Itabirito rico 60-64% Fe.

Itabirito 60% Fe.

2) En cuanto a características físicas:

Mineral Compacto.

Mineral friable.

Mineral pulverulento.

La ley promedio en el depósito es de 60 á 64%, no existiendo mineral hidratado. El tenor de fósforo es bajo, llegando como máximo a 0.1%. Se constaba la presencia de magnetita en cierto porcentaje, con un tenor medio de 70%.

La granulometría del mineral es baja, llegando a malla 100.

No se presenta problema de aglomeración, ya que los cristales

B.

finos se presentan en aspecto granular.

En cuanto a geología, si se hace un corte transversal de los bancos, se observa una pequeña potencia de esquistos, que constituye la capa de la formación ferrífera. El depósito se encuentra en un sinclinal.

D.- Explotación: Se realiza por bancos descendentes conforme el sistema clásico; siendo 10 m. la altura de los mismos. Las rampas máxima son de 6% en las pistas principales y de 8% en las pistas secundarias para los bancos. La distancia máxima del depósito a las instalaciones de beneficio es de 10 Kms.

1) Perforación: La perforación primaria es realizada por perforadoras de porte medio montadas sobre esteiras, con posibilidades de hacer taladros hasta de 3 1/2" de diámetro. Para perforación secundaria se tiene martelletes de 22 kgs.

Se usan también perforadoras de gran porte tipo "Churn Drill" capaces de realizar taladros de 7 á 9" de diámetro. La compañía cuenta con compresoras portátiles de 600 p.c.m. para las perforadoras sobre esteiras. Se cuenta también con compresoras eléctricas de 1100 p.c.m. para los martelletes. Las grandes perforadoras son equipadas con unidades propias de aire.

2) Disparo:

a) Explosivos usados: Gelatina especial 45%.

Nitrato de amonio/Fuel Oil 94.6

b) Accesorios : Detonador común y fulminantes tipo "Black Elephant".

3) Carguío:

a) Palas: Son usadas las Bucyrus 54 B y la Marion, con capacidades de 2 1/2 yds³. (6). Para la adquisición de éstas palas se hizo un estudio previo muy detallado teniendo en cuenta la producción horaria, la capacidad de los camiones y de las dimensiones de la Doca del britador primario.

b) Camiones: La compañía cuenta con 30 camiones Euclid de 27 Tns.

Distancia media de transporte: 10 Km.

Velocidad mina britador y viceversa 27 Km/h.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

Tiempo: mina britador y viceversa 44.4 minutos (ciclo).

Carga: 5 minutos.

Descarga: 2.6 minutos.

Total: 52.0 minutos.

E.- Beneficio: Se cuenta con una planta de chancado y clasificación del mineral, antes de su embarque a puerto Victoria para su exportación. La capacidad horaria de la planta es de 1,000 Tns., y cuenta con una chancadora primaria de mandíbulas, la cual tiene una abertura de 1.50 x 1.20 m.

La chancadora secundaria es también del tipo mandíbula, de fabricación Acero Paulista, y de 900 x 630 mm con capacidad de 130 t/h.

Cuando se quiere obtener sólo mineral de granulometría abajo de 50 mm se alimenta 2 chancadoras giratorias, que operan en paralelo y tienen una capacidad de 160 Tn/h.

F.- Aspecto Administrativo de la Compañía: La compañía cuenta con todas las instalaciones necesarias para el buen desarrollo de la explotación; entre las cuales se tiene oficina mecánica, eléctrica, carpintería, almacén, laboratorios, oficinas y estación eléctrica.

El personal tiene casas de primera que les permite vivir higiénicamente. Se tiene también Iglesia, cinema y campos de expansión.

En cuanto al personal, lo podemos clasificar en cuatro grupos:

- a) Supervisión general: 9
- b) Servicio Administrativo y social: 44
- c) Geología e investigaciones: 39
- d) Producción: 372

TOTAL: 464.

Compañía Minera Mannesmann.-

A.- Ubicación: Cerro Latauca - Belo Horizonte - Estado de Minas Gerais.

B.- Historia: En 1954 la Compañía Minera Mannesmann compra el depósito a la compañía Morro Velho y comienza a explotarla.



Vista parcial de un disparo con ANFO y gelatina especial, en taladros de 3 pulgadas de diámetro.



Laboreo manual en "OPEN PIT" Personal en plena perforación, con máquinas Atlas Copco de 3" de diámetro.

RAUL REO PATRON B.**PROMOCION 1965**

En ese mismo año se extraen 180 Tn. diarias, trabajando 8 horas por día y en forma manual, sin auxilio alguno de maquinarias. A fines del mismo año la producción llega a 210 Tn/día, tonelaje que se mantiene hasta 1955, año en que vuelve a incrementarse, llegando a 350 Tn/día. Es en 1955 que se hacen los trazos de los primeros bancos, los que tuvieron una altura de 10 m., siendo 9 en total para lograr la abertura del frente.

En 1958 se aumenta la altura de los bancos a 12 m., subiendo la producción a 470 Tn/día, lo que se logra con 350 operarios, 6 camiones y 14 volquetes.

En 1962 se proyecta la mecanización de la mina, consiguiendo una producción de más de 700 Tn/día, cifra que continúa hasta el presente.

La compañía Minera Mannesmann provee del mineral de fierro a su Usina ubicada a 10 kms. del yacimiento, exportando el exceso de su producción.

C.- Geología - Clasificación del Mineral:

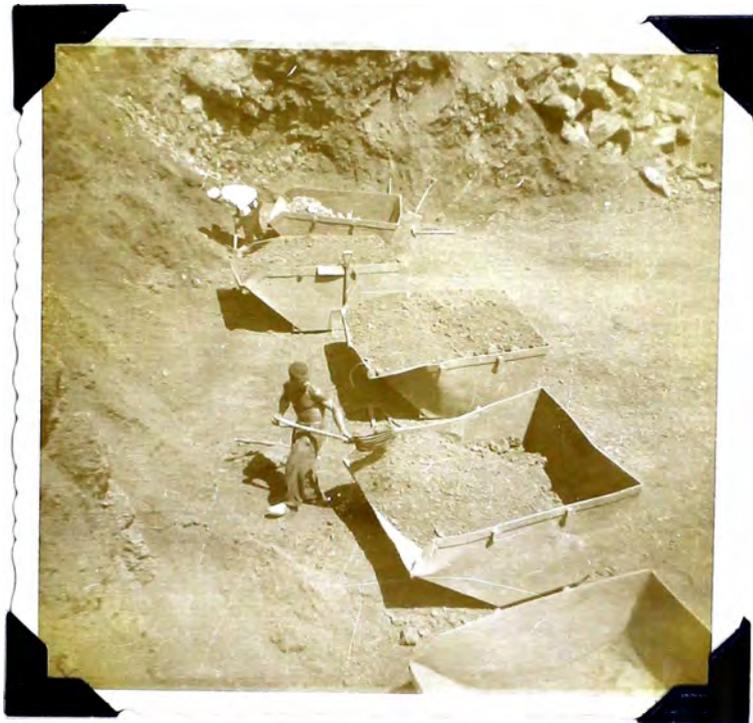
- a) Hematita compacta y friable con 68% Fe, 2% $Al_2 O_3$ y 0.8% Si O_2 .
- b) Itabirito con 60% Fe y 4% SiO_2 .
- c) Ganga con 53.6% Fe y 0.5% de P.

La prospección se realizó por galerías de 250 m, sostenidas por cuadros cónicos de 1.80 x 1.50 m. No se hizo ningún tipo de sondaje.

D.- Explotación: Se realiza a cielo abierto, con bancos descendentes; estando bastante mecanizada pero existiendo aún una zona de trabajo manual (9,000 Tnc/mes.

1- Perforación - Equipo:

- a) Perforadoras: Sobre esteiras (Air Trac) Atlas Copco (2).
Diámetro: 3 pulgadas.
Fresión de trabajo: 100 lbs/pulg².
- b) Marteleles: Pequeños (7) y grandes (23) de Atlas Copco.
Tipos: BD-12-LH y RH-571-3L
Taladros: 3/4 pulgada y 7/8.
- c) Brocas: Coromant y Vulcanus (Brasileras).
Pastillas: Vulcanus M-3 con carburo de tungsteno (40mm).
Coronas: de 3 pulgadas, reemplazables en X.
- d) Barrenos: Marca: Coromant.



Tolvas de 5.5 Tns. son cargadas por personal a un ritmo aproximado de 30 minutos por tolva. Cada obrero tiene a su cargo una tolva.

RAUL REO PATRON B.**PROMOCION 1965**

Tipo: hexagonal de 3/4 pulgada de diámetro, y con pastillas de 29 mm.

El avance medio es de 25 m.

- e) Compresoras: Jembach de 600 pies³/minuto (4).
 Demag de 150 pies³/minuto (4).
 Demag de 250 pies³/minuto (4).

2- Disparo - Explosivos Usados:

XP - 100 de 60% (ANFO).

Gelatina especial de 60%

Gelatina especial de 40%.

Factor de voladura = 200 gr/Tn.

Los taladros son cargados con 75 lbs. de XP-100 y con 2 ó 3 cartuchos de gelatina especial 60%

La gelatina especial 40% se usa para fuego secundario.

Muy poco se hacen circuitos eléctricos; la explosión se realiza con cordón detonante y con espoleta.

3- Carguío:

a) Falas mecánicas P.H. - 955 de 2 1/2 yds³

b) Camiones de 12 y 10 Tn. que en número de 22 cubren una distancia de 4 1/2 km. hasta la planta de chancado.

c) Cable aéreo marca Poligh Heckel, de 50 Tns/hora de capacidad, usado para transportar el mineral de la planta de chancado a la Usina (6 1/2 kms.).

La producción es de 40,000 Tns./mes, siendo exportadas 25,000 quedando 15,000 para el consumo de la Usina, cantidad que le es suficiente y necesaria.

E.- Beneficio: La Compañía cuenta con una planta de chancado, con capacidad de 230 Tns./hora. Esta chancadora primaria es del tipo de quijadas, de fabricación Brasileira (Acero Paulista). Se cuenta también con un grupo de Feneiras y estructuras marca Poligh Heckel (Brasil), para la clasificación y distribución del mineral a las chancadoras secundarias, las cuales son también del tipo quijadas, con aberturas de 7, 4 y 2 pulgadas.

Los motores usados son eléctricos ANFO de fabricación Brasileira.



Camión listo para emprender la marcha luego de haber izado la tolva de mineral.



Camión basculante descargando mineral en la mina a camión volquete, el cual se encargará de transportarlo a la planta de chancado.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**Compañía Vale Do Rio Doce.-

A.- Introducción: La Compañía Vale do Rio Doce fué creada el 1ro. de Junio de 1942, durante la última guerra mundial, como resultado de los entendimientos entre los gobiernos de Brasil, Estados Unidos y Gran Bretaña.

La Cia. Vale do Rio Doce tiene por objetivo la extracción, transporte y comercio de mineral de fierro.

El capital de la Compañía es de 23,400 millones de cruzeiros, de los cuales 35.18% pertenecen al Gobierno Brasileiro. El activo fijo en diciembre del 1963 llegaba a la suma de 42,100 millones de cruzeiros.

El programa inicial fué la exportación anual de 1.5 millones de toneladas de mineral de fierro tipo "lump", objetivo alcanzado en 1952. En 1959 la producción llega a 3 millones de toneladas, y en 1962 la producción se eleva a 6 millones. Hasta el año 1956 sólo se exportó mineral "lump" para acería y solamente en 1957 fué iniciada la exportación de "run of mine" y finos de hematita.

Con el cambio de condiciones del mercado en 1957, y debido también a la evolución tecnológica de los procesos siderúrgicos, la CVRD hace una revisión de los tipos de minerales de exportación, para atender las solicitudes del mercado. En 1960 comienza la producción de mineral para altos hornos.

B.- Geología del depósito: Las reservas minerales se localizan en el distrito ferrífero de Itabira y distan aproximadamente 20 kms. en la dirección S.E. de la más próxima formación del Cuadrilátero Ferrífero. Estos depósitos se encuentran en rocas granito-gneílicas, constituyendo las rocas más antiguas de ese distrito, y pertenecientes al pre-cámbrico.

La estructura principal del distrito ferrífero de Itabira está definida por un sinclinerio, cuyo eje es SW-NE y tiene una extensión de 11 kms. En los flancos se hallan los cuernos mineralizados que son Caué, Dos Córregos y Concepción. El siclinal de Caué es abierto, poco profundo y su eje principal tiene dirección E-W-

Dividiendo el depósito en partes norte y sur, se encuentra un dique de intrusivo, que inicialmente debe haber sido una roca

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

básica, y posteriormente sufrió metamorfismo, pasando a un esquisto talcoso de poca consistencia. Además de éste dique existen numerosos sills de material idéntico.

Clasificación del Mineral: El mineral de fierro del Cuadrilátero está clasificado según su grado de riqueza metálica y de acuerdo con sus características físicas. Tenemos así los siguientes tipos:

- 1) Hematita de alto tenor metálico:
 - a) Hematita Compacta.
 - b) Hematita Friable.
 - c) Hematita Pulverulenta.
- 2) Mineral rodado.
- 3) Ganga.
- 4) Itabiritos.

Se considera mineral de alto tenor todo aquel cuyo contenido metálico esté sobre 66% y con ciertas características físicas y químicas definidas.

Características químicas del mineral:

Análisis del mineral tipo "lump" exportado:

Fe ₂ O ₃	97.95%
P	0.027%
S	0.003%
SiO ₂	0.650%
Al ₂ O ₃	0.800%
Ca O, Mg O, Ti O ₂	0.220%
Fe	68.50%

$$R = \frac{\text{Fe}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 47.2\%$$

Características mineralógicas del mineral: El mineral hematítico es un compuesto en el que predomina los granos finos de specularita. La martita y magnetita se encuentran en forma diseminada, pero son despreciables bajo el punto de vista **cuantitativo**.

Los minerales que forman la ganga son talco y crisotilo, producto de alteración de silicatos de magnesio.

Estos minerales de la ganga están genéticamente relacionados

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

con los diques y sills, y su porcentaje aumenta con las proximidades de éstos.

La hematita compacta es la roca más resistente a la erosión, estando principalmente en las partes más elevadas de la región, formando "hog backs".

Las hematitas blandas se presentan como un tipo gradacional entre las hematitas compactas y las pulverulentas.

Son ellas uno de los generadores de finos en las fases sucesivas de tratamiento para la producción de los tipos industriales de mineral.

El mineral pulverulento tiene un grado de riqueza de 68.5% y su granulometría es de cerca de 50% bajo malla 150.

La ganga es un tipo de mineral proveniente de la meteorización de los itabiritos. Constituye una roca limonítica, en la cual los fragmentos de itabirito y hematita son soldados por un cemento formado de limonita, cuarzo y arcilla. Un análisis de ésta ganga dá 50% en fierro, 4.8% en SiO_2 , 3.2% en Al_2O_3 y 0.13% en P.

Los itabiritos se presentan en capas, intercaladas con grandes masas de hematita, ocasionando problemas para su extracción. Estos pueden ser clasificados en compactos, blandos y pulverulentos; en cuanto a su contenido metálico presentan una variedad muy grande, del orden de 35 á 60% de Fe metálico.

C.- Programa de la Compañía Vale Do Rio Doce: Está siendo preparada la mecanización completa de tres principales minas, que deberán tener una producción aumentada gradacionalmente hasta los 10 millones de toneladas por año a partir de 1967. Para poder atender convenientemente las exigencias del mercado consumidor, además de los tipos de mineral mencionados, la Compañía Vale Do Rio Doce se prepara activamente para formar parte del mercado de "pellets". Teniendo inmensas reservas de hematita pulverulenta cuyo tenor de fierro oscila entre 67 y 69% y con granulometría donde la fracción abajo de malla 150 representa cerca de 50%, va la Compañía Vale Do Rio Doce a utilizar ese mineral como cabeza para la fabricación de pellets y que en su primera etapa de producción deberá alcanzar 3 millones de toneladas por año.

La tendencia de la producción mundial de pellets indica que a partir de 1967 deberán estar operando 42 plantas, con capacidad total anual de 63'602,000 Tns. Estas plantas se distribuirán de la siguiente manera:

	<u>Número</u>	<u>Producción</u>
Estados Unidos y Canadá	24	48'940,000
Escandinavia	6	4'650,000
Alemania, Francia, Italia y España	4	2'090,000
Japón	5	3'922,000
Perú y Brasil	3	4'000,000

La producción actual de CVRD y alguna de sus asociadas es del orden de 7 millones de toneladas por año y transportada con facilidad para puerto Victoria a 570 kms. de distancia por ferrovía. Los trenes mayores están constituidos por 150 vagones de 90 toneladas, traccionados por 5 locomotoras diesel-eléctricas de 1600 H.P. cada una, estando en estudios la posibilidad de emplear locomotoras diesel-hidráulicas de 4,000 H.P. cada una.

Para atender la expansión de sus exportaciones se está construyendo un terminal, que puede ser caracterizado de la siguiente manera:

- Patio ferroviario con 35 kms. de vía férrea para descarga de mineral y servicios diversos.
- Sistema de descarga mecánica y automática de mineral, sin desacoplar los vagones, a través de "car-dumper" con capacidad de descarga de 6000 Tns/hora.
- Almacenamiento para un millón de toneladas de mineral.
Central de clasificación de mineral con capacidad de 6000 Tns/hora.
- Oficina, depósitos, servicios auxiliares, etc.

Las instalaciones marítimas consisten de un puerto, especialmente proyectado y construido con roca granítica. El proyecto consta de dos muelles, siendo uno destinado a las operaciones de exportación de mineral y otro para las importaciones de carbón.

RAUL RZO PATRON B.**PROMOCION 1965****CAPITULO IX****CONCLUSIONES**

La génesis de los depósitos de fierro en el Perú no es muy uniforme, existiendo de los tipos más variados, como son de segregación magnética, contacto neumatolítico, hidrotermal, de intemperismo y de secuencia metamórfica, habiendo depósitos cuyas génesis es aún incierta.

El minado a cielo abierto ofrece mayores perspectivas para la investigación tecnológica, cuyo fin es trabajar depósitos minerales de baja ley, teniendo que mover grandes volúmenes de material, para compensar el bajo precio del producto.

La profundidad máxima de un pit, a la cual se puede trabajar económicamente se alcanza cuando el costo de operación al minar una tonelada de mineral del banco más profundo, es igual al costo de operación al minar una tonelada de mineral usando un método subterráneo apropiado.

El primer paso para establecer buenos controles para el futuro planeamiento del pit es la exploración, debiendo ser cubierta el área por explorar con un sistema de triangulación.

Las perforaciones de prospección se realizan por el método de churn drill, por ser más económico que el diamond drill, y de gran flexibilidad para el muestreo.

Las reservas de mineral son calculadas por niveles sobre la base de los ensayos promedio que se tiene para cada taladro. Para calcular el área de influencia de cada taladro se usan varios métodos, tales como el poligonal, el triangular, el estadístico y el de las secciones verticales.

En la perforación de los bancos se usan las perforadoras rotary y las perforadoras a percusión dentro del taladro, siendo las primeras las que dan más economía y aceleran considerablemente la producción.

RAUL RZO PATRON B.

PROMOCION 1965

Para obtener un buen rendimiento con las brocas rotary, se debe suministrar un volúmen suficiente de aire comprimido, a fin de asegurar adecuado enfriamiento y una velocidad anular de elevación de por lo menos 3,000 F.F.M. a fin de remover lo más rápido posible las partículas en el fondo del taladro.

La perforación secundaria se realiza generalmente con perforadoras Air Trac tipo Wagon Drill, debido a su alta velocidad de perforación y bajo costo de mantenimiento.

Los explosivos más usados son el ANFO, Hydromex y Slurries Metálicos, empleando como iniciadores el HDP el cual desarrolla una presión de 230 kiloatmósferas.

La seguridad en el pit debe ser controlada por la presencia de un equipo bien organizado, el cual debe ser a dos niveles, uno al nivel de Ejecutivo y otro al nivel de Jefe de Guardia y Supervisores.

El transporte a larga distancia de finos de hematita a través de tubos de acero, es factible desde el punto de vista técnico, y el desgaste de los tubos por abrasión y corrosión es aceptable para granulometrías apropiadas.

El costo de transporte de una tonelada de fierro por mineralo producto es inferior en 2 á 3 dólares por tonelada a los fletes ferroviarios.

En Marcona el área mineralizada cubre 100 Km² en forma de faja arquada de 20 kms. por 5 kms., existiendo zonas bien marcadas, entre las que se tiene la zona de lixiviación con hematita y martita, la zona superior de sulfatos con hematita-martita rojiza con vetillas de jarosita, la zona inferior de sulfatos con hematita, magnetita y pirita, y la zona de sulfuros primarios con magnetita negra, pirita y chalcopirita diseminada.

Las rocas se dividen en sedimentarias, volcánicas, ígneas y metamórficas, que van desde el precámbrico hasta el mesozoico, siendo el depósito de contacto neumatólítico, y presentándose la mineralización por sulfuros.

RAUL RIZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

El Cuadrilátero Ferrífero del Brasil tiene una área de 7 mil Km² constituyendo una de las clásicas superficies de la geología pre-Cámbrica del mundo. Su geología es bastante compleja, teniendo un mínimo de 3 series de rocas sedimentarias, separadas por discordancias principales. Tres edades de intrusiones graníticas son conocidas, presentándose las rocas falladas y metamorfoseadas en gran variedad. La estructura es realmente compleja; el área está plegada en grandes anticlinales y sinclinales muchos de ellos invertidos y las rocas dislocadas por fallas normales e inversas.

La perforación de bancos en marcona se lleva a cabo por perforadoras de percusión y rotativas, que hacen taladros con diámetros comprendidos entre 10 y 30 cms. El explosivo mayormente usado es el ANFO y Slurry. La explotación es por gradines de altura variable desde 4 á 12 m., siendo el radio de extracción de 1:1. La planta mina tiene por funciones el chancado, zarandeo y clasificación del mineral, el cual es luego transportado al puerto San Nicolás para su tratamiento y posterior embarque.

La mineralización en Casa de Pedra tiene un área de 1,200 m. de largo por 400 m. de ancho y está situada en un anticlinal. La perforadoras usadas son Churn Drill y para perforación secundaria Wagon Drill. Los explosivos usados son gelatina especial y ANFO. La explotación se hace a cielo abierto por bancos de 13 m. de altura. Por ser un mineral de alta pureza, el único tratamiento que se le dá es el de chancado y lavado. La producción anual es 1'500,000 Tns.

El depósito Morro Agudo se encuentra en un sinclinal, en el que se tiene una pequeña potencia de esquistos, que constituye la capa de la formación ferrífera. La perforación primaria se realiza con perforadoras de porte medio que hacen taladros de 3 1/2", y también con Churn Drill capaces de realizar taladros de 7 á 9". Los explosivos usados son gelatina especial y ANFO. La explotación es por bancos descendentes de 10 m. de altura. En el tratamiento del mineral se limita al chancado y clasificación, debido a su alta pureza.

RAUL REZO PATRON B.**PROMOCION 1965**

El sistema de perforación en la mina Mannesmann es con perforadoras de porte medio de 3" y con marteleles pequeños que hacen taladros de 3/4 y 7/8". Los explosivos usados son gelatina especial y ANFO. La explotación se realiza por el sistema clásico de bancos descendentes. El mineral es chancado y clasificado para su envío a la Usina. La producción es de más de 700 Tn/día.

El depósito Vale Do Río Doce se encuentra en roca granítica-gneílica del pre-Cámbrico. La estructura principal es un sinclinorio, cuyo eje tiene 11 kms. La producción actual llega a 7 millones de toneladas.

La producción mundial de acero en los últimos 15 años se ha incrementado en 8% anual.

Cinco países exportan más de 14 millones de toneladas por año, lo que representa en conjunto más del 60% del total de las exportaciones mundiales.

Entre los seis mayores importadores, recibiendo cada uno más de 15 millones de toneladas anuales se tiene a Estados Unidos, Alemania Occidental, Luxemburgo, Inglaterra, Japón y Bélgica, que juntos absorben más del 80% del mercado mundial.

RAUL RIZO PATRON B.

PROMOCION 1965

BIBLIOGRAFIA

- Elementos de Minería - G.J. Young.
- Elección y Crítica de Métodos de Explotación - Stoces.
- Explotación de Minas - Ing° Luis Briceño Arata.
- Open Pit Mining - Engineering and Mining Journal (1965).
- Ventajas del Transporte de Fierro por Mineroducto - Ing° Luis de Oliveira C.
- Empleo de Radioisótopos en el Estudio de un Mineroducto - Ing° H. Lisboa T.
- Transporte de Fierro por Tubos a Larga Distancia - Ing° B. Pinto C.
- Pipelines Show Good Potential for Long Distance Transporting - R. Constantini.
- Iron in the World Market - Engineering and Mining Journal.
- Minería a Tajo Abierto en Marcona - Ing° C. Kallete V.
- Perforación, Disparo y Seguridad en Minas a Cielo Abierto - Ing° J. Díaz A.
- Geología del Cuadrilátero Ferrífero de Brasil - Ing° Phillip W. Guild.
- Explotación y Beneficio de Mineral de Fierro - Raúl Rizo Patrón.
- Minería Open Pit - Ing° Carlos Roncero Bonifacio.
- Máquinas Perforadoras: "Manual of Rock Blasting" - Atlas.
- Rol de la Investigación Tecnológica en Minería a Cielo Abierto - Ing° Víctor Barúa R.
- El Fierro y su Distribución Geográfica en el Perú - Dr. G. Petersen G.