

ESTRUCTURA GEOLOGICA DEL YACIMIENTO SUR DE SIERRA GRANDE. PROVINCIA DE RIO NEGRO.

por JULIO CESAR AVILA *

SUMMARY

Geological structure of the southern deposit of Sierra Grande, Río Negro Province, Argentine Republic.- Regional stratigraphy and petrography of the ferriferous deposits of Sierra Grande are described. The structure of foldings and position of faults and diaclases are analyzed in detail. Horizontal main stresses with EW and NS direction gave origin to two sets of diaclases during early stages of formation. Subsequently, faults related with them and subvertical fractures with EW direction were produced. The relative displacements of the blocks determines the anticlinal substructure with EW axis, dipping downward to the E, that affects the whole deposit.

Introducción

El presente trabajo es parte de uno más extenso presentado como tesis doctoral ante la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán.

Se expone un estudio realizado sobre la estructura geológica del Yacimiento Sur de Sierra grande. El mencionado depósito ferrífero de origen sedimentario está ubicado en las sedimentitas marinas silúrico-devónicas (Formación Sierra Grande) que afloran en el sector nororiental del macizo norpatagónico.

Ubicación, accesos, fisiografía

El yacimiento se encuentra ubicado a 8 km al SSW de la localidad de Sierra Grande, provincia de Río Negro, en las adyacencias de la ruta nacional No 3. Abarca, junto con el Yacimiento Este, una superficie aproximada de 25 km². La morfología está controlada por la litología y la estructura, así las suaves loma-

das que corresponden a los afloramientos cuarcíticos de la Formación Sierra Grande están alineadas formando un arco cóncavo hacia el oeste debido al pliegue buzante que afecta al depósito. La altura máxima en el área, la Loma Blanca, alcanza 380 m s.n.m.; existen pequeños bajos sin salida que contienen lagunas temporarias.

Antecedentes

Los primeros estudios de la zona fueron realizados por Sgrosso (1946). Herrera (1948) y Angelelli (1948) interpretaron la estructura y reconocieron el origen sedimentario de los yacimientos. Valvano (1949, 1954) y Zöllner (1950, 1951) realizan estudios detallados donde cubican mineral medido y se pone de manifiesto la importancia económica de los depósitos. Rossi del Cerro (Geotécnica S.A. 1950, 1951) y Tornquist (1959) efectúan relevamientos magnetométricos. Navarro (1962) expone una interpretación estructural de los yacimientos Sur y Este. En 1951-1953 De Alba realiza el estudio geológico de la hoja 41J-Sierra Grande, publicada en 1954. La firma

* Facultad de Ciencias Naturales U.N.T.

Demag A.G. (1963) mapea en mayor escala los yacimientos y programa perforaciones que duplican las reservas cubicadas. Desde 1970 a la fecha el Departamento Geología de Hierro Patagónico de Sierra Grande S.A.M., empresa responsable de la explotación de los yacimientos ferríferos realiza ininterrumpidamente trabajos geológicos de detalle para la explotación minera.

GEOLOGIA

Geología regional, estratigrafía

En términos de geología regional, la zona se incluye en el sector nororiental del macizo norpatagónico. Las rocas más antiguas corresponden a un complejo metamórfico de edad incierta cuyos escasos afloramientos se distribuyen aislada e irregularmente. Son esquistos, filitas, gneises, metacuarcitas, metadiabasas y hornfels intensamente plegados y fracturados. Los primeros investigadores le atribuyen edad precámbrica, mientras que Braitsh (1965) debido al hallazgo de relictos de bivalvos en las "Series Basales" del Yacimiento Norte, considera que son de edad paleozoica inferior (cambro-ordovícico?). A los efectos del presente trabajo, atendiendo a las razones de Braitsh se incluyen con reservas al complejo metamórfico en el Paleozoico Inferior. Mediante marcada discordancia angular, la Formación Sierra Grande se sobrepone a las metamorfitas mencionadas. Es un paquete de sedimentitas marinas integrado principalmente por areniscas, cuarcitas, arcillitas, sus formas híbridas y mantos ferríferos suman un espesor de alrededor de 1000 m. Está plegada en amplios anticlinales y sinclinales de rumbo general NS cuyas longitudes de onda son del orden de 1 a 2 km. Los mantos ferríferos afloran 10 km al norte y 10 km al SSW de la localidad de Sierra Grande conformando los yacimientos Norte y Sur—Este respectivamente. En base al hallazgo de fósiles tales como "*Tropidoleptus fascifer*, Kayser", "*Clarkeia antisienensis* D'Orb" y "*Conularia quichua* Ulrich" se considera que la sedimenta-

ción se extiende desde el Silúrico hasta el Devónico Inferior.

Un plutón granodiorítico de edad pérmica intruye las unidades ya indicadas. En principio hubo divergencia de opiniones sobre la edad relativa de este plutón respecto a la Formación Sierra Grande. Las dataciones radimétricas (252 ± 5 m.a., método Rb/Sr, Halpern et al., 1970) y las observaciones geológicas de interior mina confirman la edad expresada y que es intrusivo en las sedimentitas marinas. En la base de las formaciones mesozoicas se ubica un conglomerado de granos gruesos, compuesto principalmente por rodados parautoctonos, formando una planicie suavemente ondulada. Suprayaciendo a éste en discordancia angular continúa una secuencia alternada de calcáreos bituminosos oscuros y arcillitas claras de posible edad triásica inferior.

Las vulcanitas de la Formación Marifil cubren la mayor parte de la zona, son principalmente pórfiros cuarcíferos, riolíticos y tobas liparíticas de edad jurásica (180 ± 5 m.a., método K/Ar, Halpern et al., 1971) están incluidas en el complejo porfirico-porfirítico (Feruglio, 1949), elemento litológico más importante de la patagonia extraandina.

En el sector norte y este de la zona los sedimentos marinos calcáreos del Rocanense y Patagónense (transición Cretácico Superior-Terciario) se sobrepone subhorizontalmente a las vulcanitas jurásicas.

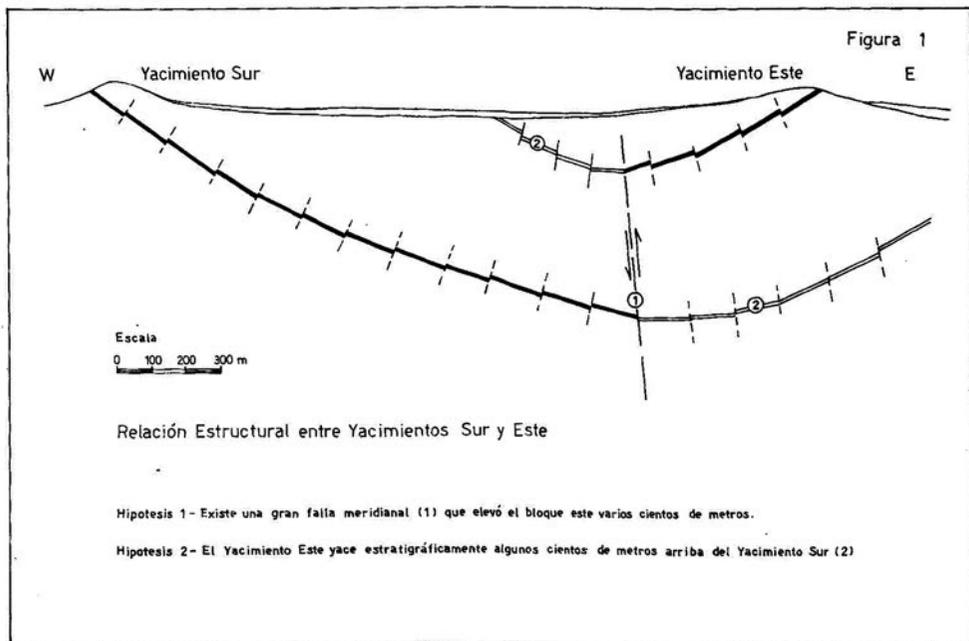
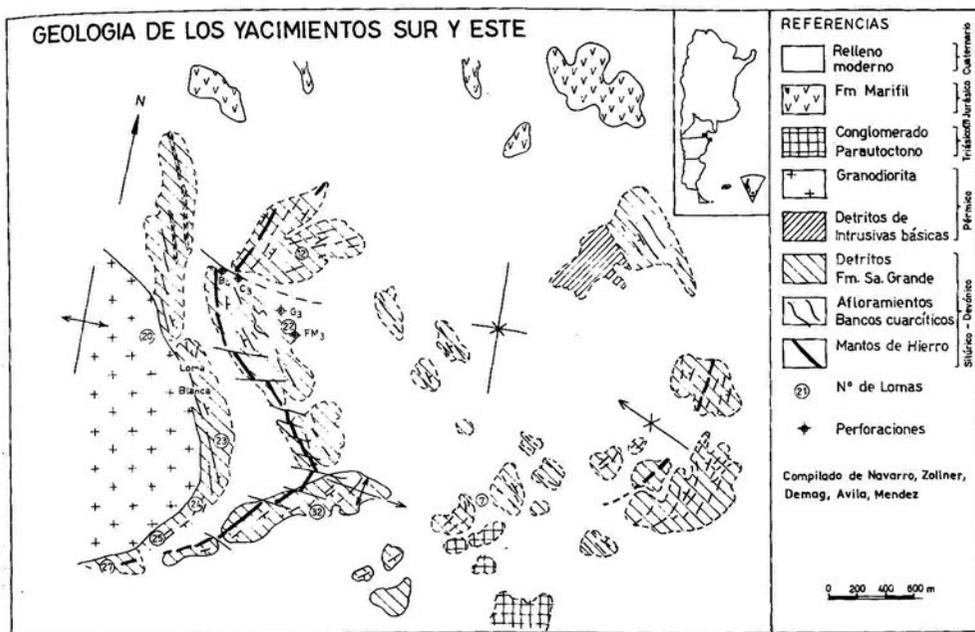
Completando el cuadro estratigráfico se ubican los rodados patagónicos (pleistoceno) y el relleno moderno.

Petrografía del Yacimiento Sur

En este punto se indicarán solamente los principales tipos de rocas existentes en el ámbito del Yacimiento Sur.

Las rocas sedimentarias están representadas por cuarcitas, areniscas, arcillitas y sus formas de transición.

Existen dos tipos de ortocuarcitas; las gris claro, muy duras y resistentes a la erosión, formadas casi en su totalidad por granos de



cuarzo trabajados, entrelazados unos con otros con textura granuda de tipo mosaico; el tamaño varía entre 0,16 y 0,3 mm. Las gris oscuro, además del cuarzo, tienen alta proporción de clorita y sericita que les otorgan el color a la roca y explican su menor dureza.

Las areniscas son el tipo predominante dentro de la secuencia sedimentaria aunque en gran parte no se encuentran puras sino como rocas de transición entre cuarcitas y arcillitas. Se considera que son antiguas arcosas o subgrauvacas. Son principalmente areniscas de grano fino presentándose también las de grano mediano y muy escasamente grueso. Su color, que es función del contenido de cloritas por lo general es gris verdoso en profundidad, en superficie cambia a pardo rojizo debido a la oxidación de las cloritas.

En algunos sectores estas rocas han sido afectadas por el metamorfismo de contacto producido por la intrusión granodiorítica originándose así comeanas andalusíticas, sillimaníticas y cuarzo micáceas (Gelós, 1977). Las arcillitas se encuentran en alternancia con areniscas y cuarcitas, el mineral principal es cuarzo, los minerales arcillosos determinados fueron sericita, clorita, biotita, caolinita e illita. Su color varía del gris claro al gris verdoso, en superficie por oxidación es pardo rojizo. Las **rocas ígneas** fueron halladas principalmente en perforaciones cercanas al plutón granodiorítico y en las labores de interior mina. Por su carácter y edad se las puede dividir en los siguientes grupos: Granodiorita, roca sinorogénica ubicada al oeste del yacimiento, de color gris claro y rosado, constituida principalmente por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita, presenta textura granular hipidiomórfica. En algunas perforaciones en el yacimiento se encontraron diaclasas rellenas con venas de granodioritas.

Dique de espessartita de color oscuro y textura afanítica, fue encontrado en una perforación en el sector sur del yacimiento. Al microscopio acusa textura granular panidiomórfica y los siguientes minerales: plagioclasa ácida, clorita, biotita, hornblenda, cuarzo y magnetita. Se considera que es un producto

de diferenciación de la granodiorita. En la Loma de los Guanacos ubicada al norte del Yacimiento Este, afloran detritos de diabasa de idénticas características.

Diques de pegmatitas, observados en algunos testigos de perforaciones, constituidos principalmente por muscovita, ortosa y cuarzo se consideran productos de diferenciación de la granodiorita. Los diques pegmatíticos atraviesan el lamprófito, el orden cronológico sería granodiorita-espessartita-pegmatita.

Interestratificadas concordantemente con el horizonte ferrífero, a veces dentro del mismo y otras en su piso o techo, se encuentran esquistos cloríticos granatíferos de posible origen ígneo, que muestran un metamorfismo de contacto intenso. Al microscopio se observan los siguientes minerales (Demag, op. cit.): granate, clorita, biotita, apatita, rutilo y cuarzo, como minerales opacos se presentan magnetita, ilmenita, pirita y pirrotita con segregaciones de pentlandita.

Por su distribución y concordancia se considera que estas rocas son sin-sedimentarias con la Formación Sierra Grande, su espesor varía del orden de centímetros a más de 1 m.

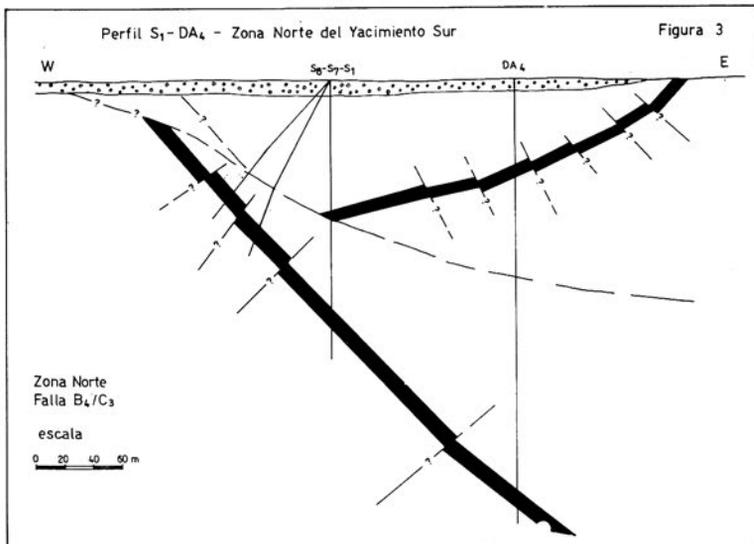
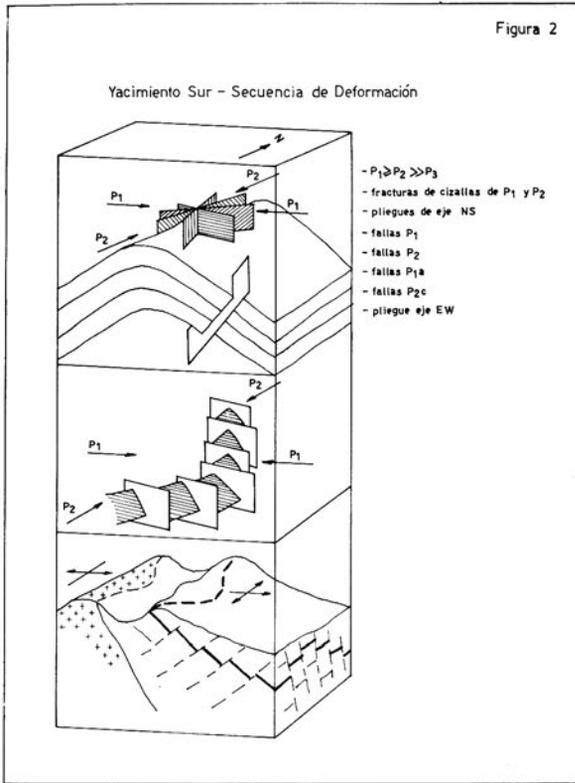
En base a lo expuesto se admite que son rocas metamórfico-efusivo-básica-sinsedimentaria-subacuáticas.

2.3 El manto ferrífero, génesis

En el punto 1 se adelantó que el horizonte mineralizado es de origen sedimentario marino, los caracteres que afirman esta condición son los siguientes:

- concordancia con las sedimentitas marinas que forman el techo y piso;
- continuidad del espesor en su rumbo y dirección de buzamiento;
- homogeneidad química y mineralógica de la mena;
- textura oolítica y alto contenido de fósforo.

Fue depositado en una cuenca de escasa profundidad y ambiente relativamente cal-



mo de sedimentación, esto lo sugiere la presencia de ondulitas en la roca de caja, la textura oolítica del mineral, pobreza de detritos y mayor porcentaje de material arcilloso (Demag, op. cit.).

En cuanto a la procedencia del hierro, su origen puede ser exógeno o endógeno. En el primer caso sería transportado desde el continente por ríos en climas tropicales o subtropicales en forma iónica como hidróxido, bicarbonatos, o humatos de hierro los que al variar el potencial redox y pH en el mar, precipitan como hidróxidos y silicatos. En el segundo caso correspondería a un proceso exhalativo submarino vinculado a un magmatismo básico sinsedimentario. La presencia de las rocas cloríticas granatíferas ya descritas puede apoyar esta segunda teoría, de todos modos el origen no está definido aún y para su elucidación deberá realizarse una detallada investigación sobre la mineralogía y el quimismo del depósito y las magmatitas citadas.

Está compuesto principalmente por magnetita encontrándose también martita y hematita en menor proporción. El mineral es de grano fino a medio, el tamaño fluctúa entre 10 μ y 1 mm, observándose tamaños extremos de hasta 3 mm, el promedio es de 70 μ (Demag, op. cit.).

La forma de los minerales de la mena es irregular, a menudo redondeada; a veces se hallan presentes formas idiomórficas e hipidomórficas. La textura en la parte sur del yacimiento es regular de tipo mosaico, granuda por recristalizaciones, mientras que en la parte central y norte presenta aún la textura oolítica. Las oolitas son de magnetita-hematita y tienen cloritas (chamosita) en sus núcleos, el tamaño varía entre 150 y 350 μ . La hematita secundaria, que se encuentra en menor proporción que la primaria, se ubica principalmente en la parte superficial del yacimiento, como producto de oxidación de la magnetita. En superficie la martita constituye el 90-95% en la relación martita-magnetita generalmente entre 25 y 30 m de profundidad.

La matriz está formada por clorita, cuar-

zo, granate, apatita, andalusita, muscovita y feldespato.

En cuanto a la composición química del manto ferrífero, aunque en el promedio del total del espesor se mantiene constante en todo el yacimiento, se observan pequeñas variaciones, principalmente del contenido de hierro a lo largo del espesor. Estas fluctuaciones, que pueden verificarse en perforaciones distanciadas más de 2 km y que se interpretan como débiles ciclos de la sedimentación, apoya la teoría de que ha prevalecido un ambiente calmo durante la deposición de los sedimentos.

La composición química promedio del horizonte mineralizado es la siguiente:

Fe	=	54,8 %
SiO ₂	=	5,9 %
Al ₂ O ₃	=	4,8 %
P	=	1,43 %
S	=	0,4 %
CaO	=	3,3 %

Es importante destacar que el valor de 54,8% corresponde a hierro contenido en óxidos, el hierro total (óxidos más silicatos) alcanza a 58%. Debido a que el proceso de beneficiación a que va a ser sometido el mineral es la separación magnética con imanes permanentes, se tiene en cuenta solamente el hierro contenido en óxidos (magnetita) ya que los silicatos no tienen propiedades magnéticas y en el proceso irán junto con las colas. El fósforo se encuentra principalmente en apatita y en mucho menor proporción en lazulita y otros fosfatos no identificados.

Referente al espesor del manto mineralizado, en la zona de la cresta del anticlinal alcanza a 16 m decreciendo suavemente en los flancos hasta 7 m en el norte y 2,5 m en el sur. El espesor promedio es de 10 m. La densidad de la mena, que es constante en todo el yacimiento, se determinó en 4,5.

Hasta el presente se han cubicado en el Yacimiento Sur alrededor de 120 millones de toneladas entre reservas medidas e indicadas.

3 - ESTRUCTURA

3.1 Pliegues

Como ya se indicó en el punto 2.1, la Formación Sierra Grande está plegada en extensos anticlinales y sinclinales de rumbo general N-S. En el área en estudio el elemento estructural dominante es un anticlinal en cuyo núcleo aflora un plutón granodiorítico y su flanco este conforma el Yacimiento Sur propiamente dicho.

Asimismo, en el mencionado flanco existe una subestructura anticlinal de rumbo E-W, buzante hacia el este. En este trabajo se mencionará a esta subestructura como "anticlinal sur".

En los afloramientos del horizonte mineralizado y en los bancos de cuarcitas del yacente y pendiente puede observarse la cresta y los flancos del anticlinal sur.

Para determinar la posición, dirección y buzamiento de los ejes de pliegues se plotearon los planos de estratificación de los diferentes estratos en la red equiareal de Schmidt (hemisfera inferior).

La firma Demag (op. cit.) fue la primera que introdujo la red de Schmidt en el análisis estructural de los yacimientos Sur y Este.

En esa oportunidad fueron medidos solamente los estratos cuarcíticos aflorantes, los únicos con buenas condiciones de exposición.

En este trabajo se verificaron los resultados obtenidos por Demag y se incluyeron además todos los datos de interior mina donde pudo relevarse el manto ferrífero en toda su extensión y parcialmente las areniscas micáceas del yacente, lo cual era imposible desde superficie debido a la cobertura moderna.

En los diagramas 1 a 8 se incluyen los principales realizados en el trabajo original. De su análisis y del mapeo geológico de detalle en superficie e interior mina surgen las siguientes conclusiones:

a - el anticlinal sur es una estructura homogénea que afecta todo el complejo sedimentario;

b - esta estructura se halla expuesta 2,8 km en sentido NS y 2,1 km en sentido EW;

c - la orientación promedio del eje del pliegue es, rumbo 96° N, buzamiento 33° E;

d - entre dos niveles de mina el buzamiento resultante disminuye de acuerdo a lo indicado en el diagrama 5, debido a la interacción de fallas de rumbo oblicuo al manto y desplazamiento final similar a fallas normales;

e - no se observaron flexuras de importancia en toda la estructura, es decir, el pliegue está formado por el desplazamiento diferencial de bloques, motivado por fallas de orientación principal EW;

f - se observaron solamente flexuras de segundo orden que forman los pliegues secundarios descritos en el diagrama 7.

En cuanto a la mecánica del plegamiento, por estar relacionada con la de la fracturación, su interpretación se expondrá posteriormente al análisis de fallas y diaclasas en el punto 3.4.

Aunque no es específico del presente trabajo, se analiza dentro de este punto la relación estructural entre los yacimientos Sur y Este, la cual no está definida aún.

Se expondrán las diferentes teorías que sustentaron los investigadores que trabajaron en la zona.

Navarro (op. cit.) supone que los Yacimientos Sur y Este están vinculados por una falla de gran rechazo horizontal, basado en sus observaciones de campo y en la interpretación de Tornquist del relevamiento magnetométrico realizado por la Dirección General de Fabricaciones Militares en 1958-59 (Tornquist, op. cit.).

Demag (op. cit.) en base a nuevos estudios estructurales, petrográficos y estratigráficos considera muy improbable la posición de Navarro y concluye que los yacimientos son estructuras complementarias aunque también introducen la posibilidad de que se trate de dos horizontes ferríferos diferentes o que entre ellos existan una o más fallas de considerable rechazo vertical que hayan elevado el Yacimiento Este (fig. 1).

En el diagrama realizado por Demag se observa que el sinclinal este es coherente con el anticlinal sur y sugiere que la tectónica de ambos fue la misma pues los polos de los ejes aparecen en la estructura complementaria correspondiente (diagr. 8).

Asimismo, la orientación axial de los pliegues secundarios observados en el sur (diagr. 7), corresponde aproximadamente a la del sinclinal este. El autor coincide con las conclusiones de Demag puesto que la teoría de deformación aplicada para el Yacimiento Sur puede utilizarse perfectamente para explicar su relación estructural con el Este. Como ya se indicara, las conclusiones se harán en el punto 3.4.

En cuanto a la suposición de que el horizonte mineralizado este sea más joven que el sur, quedará abierta hasta tanto se ejecuten las perforaciones programadas para elucidar la estructura o se produzcan nuevos hallazgos de fósiles de ubicación estratigráfica definida.

3.2 Diaclasas

Las diaclasas fueron relevadas en los afloramientos de las cuarcitas y en las areniscas micáceas de interior mina.

Se repitieron y verificaron las mediciones efectuadas por Demag, aunque el análisis e interpretación de su formación difiere de la realizada en esa oportunidad.

Se presentan algunos de los diagramas elaborados en trabajo original. En cada uno se incluye la máxima de los planos de estratificación pues son de importancia decisiva en la interpretación de las diaclasas. Es preciso aclarar que en el análisis de fallas y diaclasas se utilizará el término de bloques para referirse a las diferentes posiciones del paquete sedimentario en el anticlinal sur.

Así, el bloque norte corresponde al flanco norte, el central a la cresta y el sur al flanco sur del pliegue.

De la comparación preliminar de los dia-

gramas surge que no hay relación posicional "in situ" de los distintos juegos de diaclasas en los diferentes bloques.

Entonces, y suponiendo que se formaron en conjunto, en principio se puede decir que lo hicieron en otra posición de la que tienen actualmente, o sea que son anteriores al último plegamiento.

En la zona del yacimiento existen dos direcciones axiales de pliegues y se observa, además, que el anticlinal sur es un pliegue buzante, lo que indica que la Formación Sierra Grande está afectada por esfuerzos de distintas direcciones que pueden haber tenido lugar en tiempos diferentes. Esto significa que se pueden enunciar varias teorías relativas a la oportunidad en que se formaron y si hubo una o más de una generación de diaclasas.

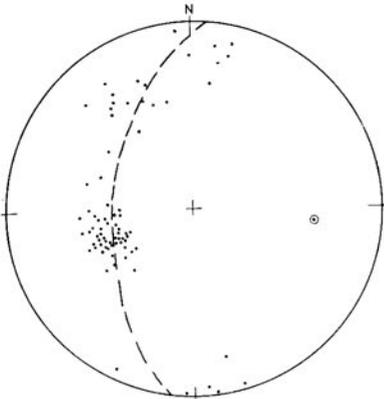
Estas hipótesis se analizaron separadamente utilizando para ello la red de Schmidt, se rotaron los planos de diaclasas de acuerdo a las diferentes combinaciones de "horizontalización" del eje del anticlinal sur y de las máximas de estratificación. Obviamente cada una de estas combinaciones responde a una teoría de la oportunidad de la formación de las diaclasas.

Del análisis surge que las diaclasas se formaron antes de todo plegamiento. Esta conclusión significa que se debe verificar que al horizontalizarse las máximas de estratificación de los bloques, los juegos serán rotados y agrupados en diferentes posiciones finales que tengan relación entre ellas de acuerdo a una determinada dirección de esfuerzos.

Se trata aquí de un pliegue buzante, por consiguiente el primer paso a realizar es horizontalizar su eje produciendo la consecuente rotación de las máximas de estratificación y los juegos de diaclasas.

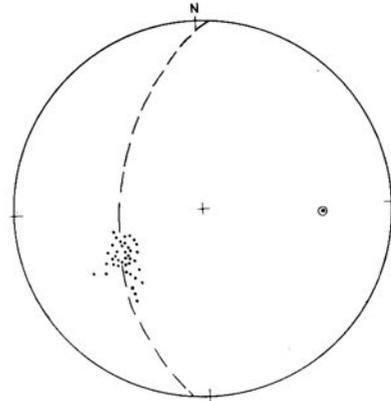
Los pasos restantes son los de horizontalizar las máximas de estratificación de cada bloque, rotando así los diferentes juegos de diaclasas relacionados con ellos. El resultado final corresponde al diagrama 12; del mismo se desprende que los juegos de diaclasas se agrupan en cuatro zonas periféricas definidas, es decir,

Diagrama 1



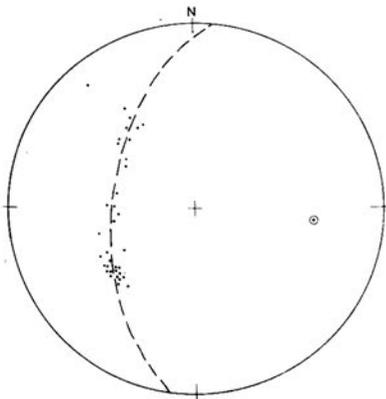
Cuarcitas basales, lomas 20, 23, 24, 25 y 27 (2000 m)
Eje del pliegue: 97°N/35°E (s/Demag, 1963)

Diagrama 2



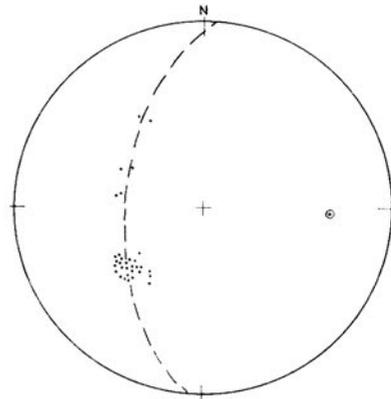
Areniscas micáceas del yacente, Plano Inclinado
 (560 m)
Eje del pliegue: 95° N/36°E

Diagrama 3



Manto ferrífero, Nivel 154 (2500 m)
Eje del pliegue: 96°N/36°E

Diagrama 4



Manto ferrífero, Nivel 200 (1900 m)
Eje del pliegue: 94°N/34°E

existen cuatro juegos de diaclasas subverticales. Son los siguientes:

- a) 116° N/Subvert. b) 159° N/Subvert.
c) 20° N/Subvert. d) 68° N/Subvert.

En la interpretación de su génesis, de acuerdo a oportunas sugerencias del Dr. Miller de la Universidad de Münster, Alemania Federal, se introducirá un concepto poco conocido de condiciones de deformación enunciado por Schmidt (1932).

Cuando una roca está sometida a esfuerzos tales que $P1 \geq P2 \geq P3$ se forman dos juegos de fracturas de cizallas cuyos ángulos agudos son bisectados por los dos esfuerzos principales mayores.

En el caso del Yacimiento Sur, las diaclasas a y d forman un juego de cizalla bisectado por el esfuerzo principal P1 subhorizontal de dirección aproximada E-W y las diaclasas b y c forman el otro juego bisectado por P2 subhorizontal de dirección aproximada N-S. En base a esto las diaclasas se denominarán:

- a) P1 a b) P2 a
c) P2 b d) P1 b

3.3 Fallas

El mapeo y posterior análisis de las fallas del yacimiento recién pudo realizarse cuando se desarrollaron las labores subterráneas de la mina. Desde superficie sólo pudieron mapearse las fallas cruzadas y fue imposible observar aquellas cuyo rumbo es oblicuo al de la Formación Sierra Grande debido a la mala exposición de los afloramientos.

Este análisis se basa fundamentalmente en los datos aportados por el relevamiento de las fallas del manto ferrífero en los niveles 154 y 200 de mina y se considera que son muy representativos ya que estas labores están desarrolladas en el manto siguiendo su rumbo, a lo largo de casi toda su extensión explotable.

En los diagramas 13, 14 y 15 se plotearon las fallas relevadas en los tres bloques, en el

Nº 16 están representados los principales juegos y rotados de manera similar a las diaclasas. Solamente algunos juegos de fallas pueden relacionarse con las diaclasas, son los siguientes:

13/1 con diaclasas P1a

13/5 con diaclasas P2a

15/1 con diaclasas P2b

14/3 con diaclasas P1b

En cambio se considera que el resto de las fallas (salvo 15/2 y 15/4) pertenece a un mismo grupo de orientación general E-W y no tiene relación con ningún juego de diaclasas, en lo sucesivo se denominará a este grupo como "P2c".

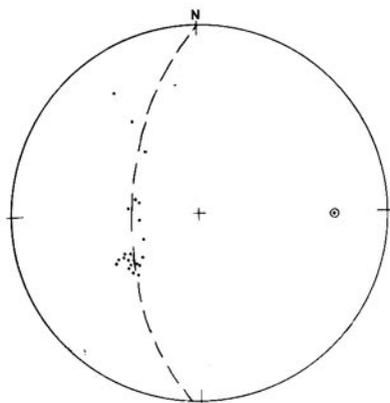
Otro dato interesante a tener en cuenta es que este grupo no varía mayormente de posición si se inclina la Formación Sierra Grande, es decir llevando el paquete sedimentario a la posición que tendría si existiera solamente el flanco oeste del anticlinal regional de eje NS y no se hubiera formado la subestructura anticlinal de eje EW, lo que en otras palabras significa que no es aventurado suponer que este importante juego de fallas se hubo formado con posterioridad a un estado avanzado del primer plegamiento y son transversales al esfuerzo principal P2. También se observa en el diagrama 16 que los juegos 15/2 y 15/4 no tomaron una correcta ubicación, podrían tener relación con el juego de diaclasas 11/1 del diagrama 12 y haberse formado con posterioridad a los plegamientos.

Como ya se indicara en el punto 3.1 el pliegue está formado por bloques limitados por fallas las cuales se pueden definir perfectamente en los planos geológicos de los niveles de mina. De un análisis detallado de éstas se concluye que son fundamentalmente las pertenecientes al grupo P2c y en menor proporción las del grupo P1b.

A continuación se analizarán los grupos de fallas definidas en los diagramas teniendo en cuenta además su rechazo.

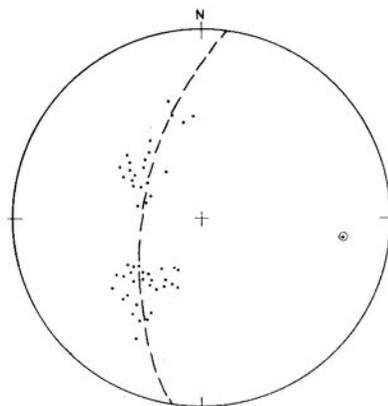
Es preciso destacar que en este trabajo el término rechazo se referirá siempre al rechazo horizontal. Asimismo, por su interpretación,

Diagrama 5



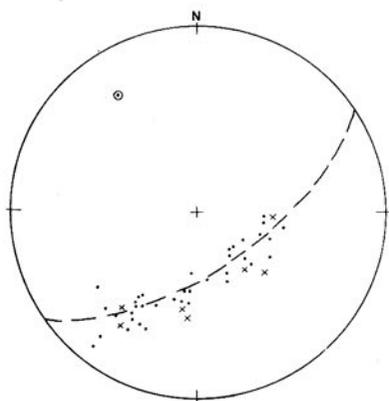
Manto ferrífero, resultante entre niveles 154 y 200
Eje del pliegue: 92°N/28°E

Diagrama 6



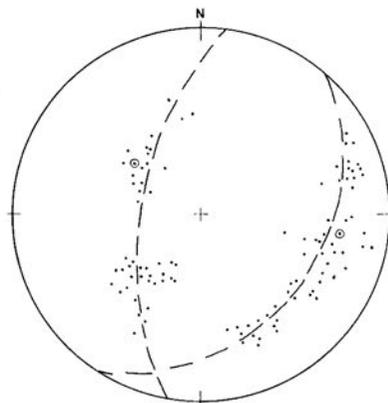
Cuarcitas del pendiente, 600-700 m sobre el horizonte
ferrífero, lomas 7 y 7a (450 m)
Eje del pliegue: 99°N/26°E (s/Demag, 1963)

Diagrama 7



Cuarcitas del pendiente, 150m sobre el horizonte
ferrífero, loma 22 al oeste de las perforaciones G3 (.)
y FM3 (x)
Eje del pliegue: 325°N/26°NW (s/Demag, 1963)

Diagrama 8



Anticlinal sur, cuarcitas del pendiente -eje 98°N/26°E
Sinclinal este, cuarcitas del pendiente -eje 128°N/
54° NW (s/Demag, 1963)

las fallas de cizalla obviamente tuvieron desplazamiento horizontal. En cuanto a las fallas transversales a P2 el rechazo horizontal medido será la resultante de un desplazamiento horizontal, vertical u oblicuo de los bloques inclinados que tuvo lugar en el plano subvertical de la falla.

En los pocos espejos de fricción donde se pudo controlar la dirección de desplazamiento se observó que estas generalmente coinciden con las conclusiones expuestas a continuación.

Como se considera que no existen fallas de rumbo NS, el rechazo se referirá siempre al desplazamiento relativo del bloque sur hacia el este u oeste:

Grupo P2c - Transversales a P2

Rumbo: E-W

Es el grupo más importante del yacimiento por su mayor rechazo y su influencia en la conformación del pliegue.

Se observan 5 fallas mayores con rechazos que fluctúan entre 40 y 65 m, de éstas 2 se encuentran en la zona de la cresta, 2 en el flanco norte y 1 en el flanco sur.

El resto tiene rechazos que varían entre 1 y 20 m.

En cuanto al sentido del desplazamiento de los bloques existen de los dos tipos; aquellos en que el bloque sur se desplazó hacia el este y aquellos en que lo hizo hacia el oeste.

Grupo P1b - Cizalla P1

Rumbo: 62° N

Solamente un 5% de las fallas tienen esta posición, no obstante es un grupo perfectamente definido principalmente en la zona de la cresta. Aunque en menor medida las fallas de este tipo también influyen en la conformación del pliegue.

Tienen generalmente rechazos menores de 5 m, solamente se observó una de 17 m de rechazo. En su mayoría el bloque sur fue desplazado hacia el oeste.

Grupo P1a - Cizalla P1

Rumbo: 130° N

Se debe destacar que aunque en los niveles 154 y 200 se relevaron solamente 20 de ellos, fallas de este grupo se encuentran en todos los niveles y labores de mina. Es sin duda el grupo más importante en cuanto a su densidad. Su rechazo generalmente no supera los 5 m, en el nivel 154 se midieron dos fallas de este tipo de rechazo de 13 y 29 m.

En su mayoría el bloque sur fue desplazado hacia el oeste. Se puede considerar que el "desplazamiento resultante" de estas fallas cuyos planos "in situ" buzanan hacia el oeste, es el de una falla normal.

Por su interacción el buzamiento resultante del manto entre dos niveles de mina, es siempre menor de lo que sería dable esperar teniendo en cuenta los buzamientos de cada nivel.

Esto ya se marcó en el diagrama 5 del punto 3.1.

Grupo P2a - Cizalla P2

Rumbo: 172° N

Como se observa en el diagrama 13, este grupo no está bien representado; existe mucha dispersión. Son pocas fallas y de rechazos menores que no superan los 3 m.

Grupo P2b - Cizalla P2

Rumbo: 130° N

Este es el grupo más definido de los correspondientes a la cizalla P2; son fallas de rechazos menores de 3 m, uniformemente distribuidas en toda la extensión del yacimiento.

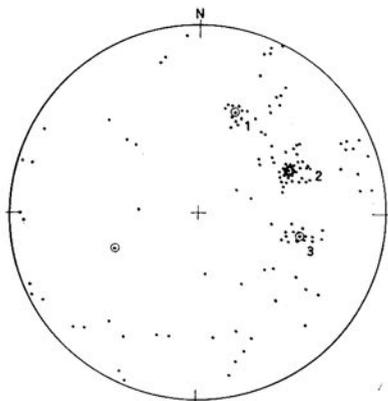
En todos los casos el bloque sur es desplazado hacia el este.

Grupo I - Fallas postectónicas

Como ya se indicó, por su posición se considera a estas fallas como postectónicas, se las podrá relacionar con las diaclasas del grupo 11/1 del diagrama 12.

Ambos juegos de fracturas se encuentran solamente en el flanco sur. Son pocas y de rechazos que no superan los 3 m. Se observan movimientos en ambos sentidos aunque predomina el desplazamiento hacia el este.

Diagrama 9

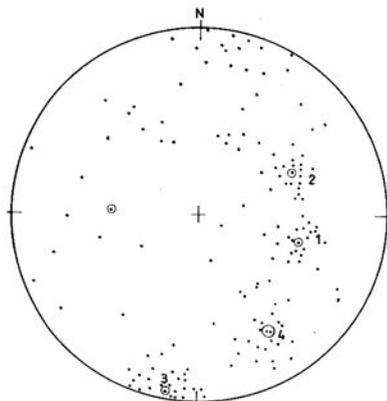


Areniscas micáceas del yacente, Plano Inclinado, bloque norte

Máxima de estratificación: 155°N/40°NE

Diaclasas: 1) 110°N/47°S; 2) 156°N/44°SW; 3) 15°N/46°W

Diagrama 10

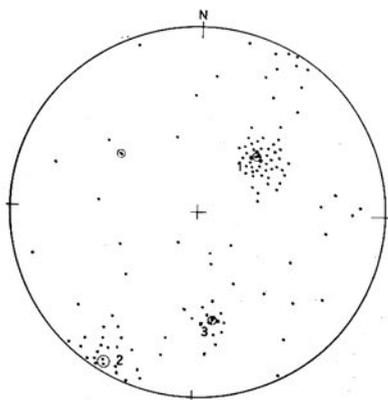


Cuarцитas del pendiente, lomas 32c y d, bloque central

Máxima de estratificación: 3°N/38°E (s/Demag, 1963)

*Diaclasas: 1) 18°N/45°W; 2) 155°N/45°SW
3) 110°N/subvert; 4) 60°N/60°N/60°NW.*

Diagrama 11

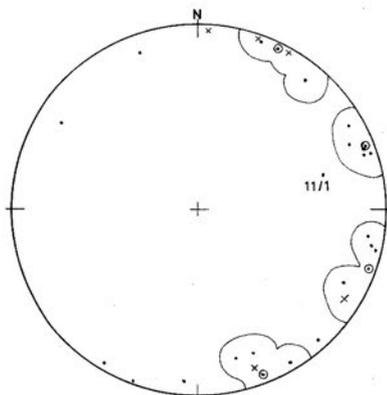


Cuarцитas del pendiente, lomas 32a y b, bloque sur

Máxima de estratificación: 35°N/42°E (s/Demag, 1963)

*Diaclasas: 1) 135°N/35°SW; 2) 120°N/subvert.
3) 80°N/50°N (débil conc.)*

Diagrama 12



Máximas de diaclasas horizontalizadas

a) 116°N/subvert

b) 159°N/subvert

c) 20°N/subvert

d) 68°N/subvert

mina el desplazamiento relativo del bloque sur hacia el oeste.

3.4 Secuencia de deformación (fig. 2)

En la zona del Yacimiento Sur actuaron esfuerzos tales que $P1 \geq Pw \geq P3$. Los esfuerzos principales P1 y P2, subhorizontales, tenían dirección aproximada E-W y N-S respectivamente.

Se formaron dos juegos de diaclasas de cizalla bisectados por los esfuerzos mencionados.

Por el esfuerzo P1 se forma el anticlinal regional de eje rumbo N-S, como ya se indicara, en el área del yacimiento, la Formación Sierra Grande constituye su flanco este, es decir que considerada localmente se inclina homoclinalmente hacia el este alrededor de 50° y se producen fallas de pequeños rechazos a partir de las fracturas de cizalla de P1.

Por acción de P2 primeramente se producen fallas a partir de las fracturas de cizalla P2, especialmente del grupo P2b y se origina también un importante juego de fallas de pequeño rechazo a partir de las fracturas P1a. Se considera que estas fallas están originadas por P2 debido al movimiento relativo de los pero se forman a partir de diaclasas previamente existentes originadas por el esfuerzo P1.

Al continuar P2 se forman las fallas principales del yacimiento orientadas transversales a P2 y paralelas a P1, es decir que pueden interpretarse como fracturas de tensión según P1 y de compresión según P2. Es importante observar en el diagrama correspondiente, que no existen diaclasas principales con esta orientación, esto induce a suponer que este juego de fracturas origina solamente fallas que son sin duda las más importantes en el Yacimiento Sur (grupo P2c).

El desplazamiento relativo de los bloques, motivado principalmente por fallas de este grupo y en menor proporción por fallas correspondientes al grupo de cizalla P1b, conforman la subestructura anticlinal sur de eje

E-W buzante hacia el este. No se observaron en toda la extensión de esta subestructura flexuras de importancia que formen el pliegue. Es decir que como efecto final de la deformación producida por P2 en las condiciones ya indicadas se forma el anticlinal sur de eje transversal al del anticlinal regional.

Se considera que ambos pliegues son productos de una sola fase de deformación tectónica acaecida a fines del Paleozoico; en su etapa tardía tuvo lugar la intrusión granodiorítica. Siguiendo a Metz (1963) se debe hablar aquí de una unidad temporal del acontecimiento.

De igual manera, utilizando los mismos parámetros de deformación se puede inferir que el Yacimiento Este es el flanco este de un extenso sinclinal regional complementario del anticlinal de eje rumbo N-S, producido por P1 y que existe una subestructura "sinclinal este", producida por P2, de eje aproximadamente E-W, buzante hacia el oeste.

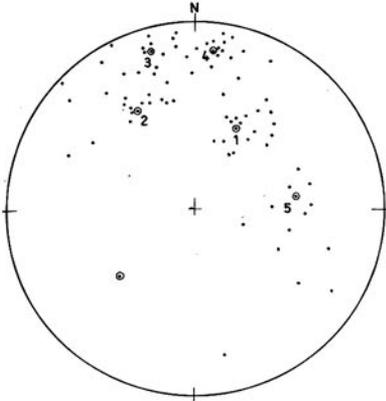
Por último debe mencionarse que la secuencia de fallas descrita en este punto fue elaborada en base al estudio de su interacción, en el relevamiento geológico de las labores de mina.

3.5 - Estructura de la zona norte de la falla B4/C3

Desde los primeros estudios realizados en el yacimiento, uno de los aspectos estructurales que más preocupó a los investigadores es el brusco cambio de buzamiento de 65° E a 45° W que se observa en la zona norte. Es decir que el paquete sedimentario que en su mayor extensión tiene buzamiento hacia el este, en la loma 12 toma buzamiento principal oeste desplazándose además el afloramiento del horizonte mineralizado 100 m hacia el oeste.

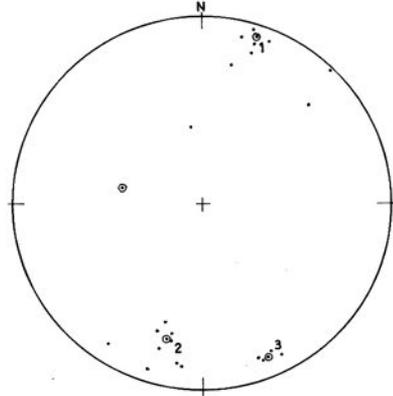
La falla que relaciona ambos bloques está ubicada en la depresión existente entre las trincheras L10 y L11, no se observa su plano debido a la cobertura moderna. Siguiendo a Demag (op. cit.) en este trabajo se la denomina

Diagrama 13



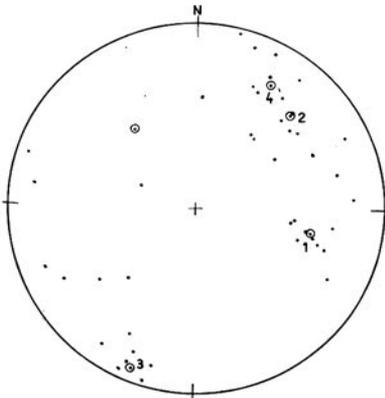
Manto ferrífero, bloque norte
 Máxima de estratificación: 139°N/46°NE
 Fallas: 1) 117°N/40°SW 2) 60°N/51°SE
 3) 74°N/76°S; 4) 96°N/73°S;
 5) 173°N/45°W (débil conc.)

Diagrama 14



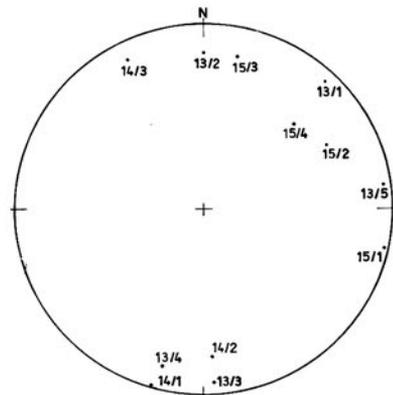
Manto ferrífero, bloque central
 Máxima de estratificación: 13°N/35°E
 Fallas: 1) 108°N/83°S; 2) 103°N/64°N
 3) 67° N/77°NW

Diagrama 15



Manto ferrífero, bloque sur
 Máxima de estratificación: 52°N/46°SE
 Fallas: 1) 12°N/51°W; 2) 136°N/60°SW
 3) 111°N/82°N; 4) 120°N/65°SW

Diagrama 16



Máximas de fallas horizontalizadas
 paso 1—Horizont. del eje del pliegue
 paso 2—Horizont. de máximas de estratificación

falla B4/C3 pues pasa cerca de las perforaciones homónimas. Navarro (op. cit.) se refiere a ella como "falla Digefamil".

Las siguientes son las dos hipótesis que se plantearon para explicar el buzamiento de la zona norte:

- es un bloque volcado;
- pertenece al flanco oeste del anticlinal de rumbo N-S y fue sobrecorrido en dirección W-E sobre el flanco este.

Otra duda que existía, de principal importancia desde el punto de vista geológico-económico es la profundidad de la zona de buzamiento hacia el oeste y la existencia o no en profundidad de la Formación Sierra Grande buzando hacia el este.

Navarro presume que es un bloque volcado superficialmente, considera que ocurrió en forma coetánea con el desplazamiento hacia el SE del extremo norte del yacimiento hasta la posición actual del Yacimiento Este, debido a los efectos de una componente compresional de rumbo NNW-SSE.

Demag, en base al análisis estructural por medio de la red de Schmidt, sostiene que en la zona norte existe una estructura anticlinal buzante hacia el norte en cuyo flanco oeste se conserva el estrato mineralizado. Interpreta a su vez que ésta estructura corresponde a la cresta y flanco oeste del anticlinal principal de rumbo N-S y que ha sido sobrecorrido sobre el flanco este por una distancia de alrededor de 60 m en dirección E-W. Igual que Navarro, supone que el plano de sobrecorrimiento no es profundo y obviamente debajo de él se encuentra la Formación Sierra Grande buzante hacia el este.

Aunque hasta el presente no han surgido nuevos elementos de juicio de índole petrográfica o estratigráfica que definan la mecánica de la inversión del buzamiento, actualmente se ha definido la "estructura resultante" en base a los datos aportados por perforaciones ejecutadas para tal efecto. Las conclusiones más importantes son (fig. 3):

- se verifica que en profundidad la Formación Sierra Grande buza hacia el oeste;
- el límite norte del bloque inferior buzante al este se extiende hasta una distancia de aproximadamente 900 m de la trinchera L10;
- se verifica que hacia el oeste el bloque inferior llega a una profundidad media de 40 m, esto significa que los niveles a partir de esa profundidad se podrán desarrollar alrededor de 800 m más de lo planificado, hasta el nuevo límite norte;
- se ubicaron reservas de mineral indicado del orden de 25 millones de toneladas.

Merece destacarse que el estudio y la interpretación geofísica efectuada por Rossi (Geotécnica, op. cit.) fueron de gran ayuda en la ubicación de las perforaciones para elucidar la estructura resultante. Se verificaron con gran aproximación sus conclusiones en cuanto a la existencia en profundidad del bloque "in situ" y sus límites norte y oeste.

4 - CONCLUSIONES

En este capítulo, a modo de síntesis, se enumeran las conclusiones e hipótesis a que se arriban en el presente trabajo. Son las siguientes:

- en la zona del Yacimiento Sur actuaron esfuerzos tales que $P1 \geq P2 \gg P3$;
- los esfuerzos principales P1 y P2, subhorizontales, tuvieron orientación aproximada E-W y N-S respectivamente;
- las diaclasas se formaron antes o en la etapa temprana de los plegamientos;
- se originaron dos juegos de diaclasas de cizalla bisectadas por los esfuerzos P1 y P2;
- por el esfuerzo P1 se formaron los pliegues regionales de ejes rumbo N-S,

- además se originan fallas a partir de las diaclasas de cizalla;
- en el área del Yacimiento Sur, la Formación Sierra Grande constituye el flanco este de un anticlinal regional. Inclina hacia el este alrededor de 50°;
 - por el esfuerzo P2 se forman fallas a partir de las cizallas P2 y P1b;
 - al continuar P2 se producen las fallas transversales, grupo P2c, que son las principales del yacimiento;
 - el desplazamiento relativo de los bloques debido a las fallas P2c y en menor medida a la P1b conforman la subestructura anticlinal de rumbo E-W;
 - no se observaron en toda la extensión de la subestructura flexuras de importancia que formen el pliegue;
 - se considera que ambas direcciones de plegamiento son productos de una sola fase de deformación tectónica acaecida a fines del Paleozoico;
 - el Yacimiento Este es el flanco este de un sinclinal regional de rumbo N-S complementario del anticlinal sur (producido por el esfuerzo P1);
 - el sinclinal este es una subestructura ubicada en el flanco arriba mencionado, producida por P2;
 - no se encontraron hasta el presente elementos de juicio que avalen la hipótesis de que el horizonte mineralizado este sea más joven que el sur;
 - de igual manera, no se puede precisar aún la mecánica de la inversión del buzamiento en la zona norte del Ya-

CUADRO ESTRATIGRAFICO DE SIERRA GRANDE

Era	Período	Formación, litología
		Relleno moderno
	Cuartario	Rodados patagónicos
Cenozoico		Discordancia erosiva
	Terciario (Eo-oligoceno)	Formación Patagonia (calcáreos)
	Cretácico (Maestrich.-Eocen?)	Formación Roca (calcáreos)
		Discordancia erosiva
Mesozoico	Jurásico (Medio-Inf?)	Formación Marfil (vulcanitas ácidas)
	Triásico?	Calcáreos bituminosos Conglomerado parautóctono
		Discordancia angular
	Pérmico	Granodiorita Plegamientos fuertes
Paleozoico	Silúrico-Devón.	Formación Sierra Grande (areniscas arcillitas, mantos de hierro)
		Discordancia angular Plegamientos fuertes
	Cambro-Ordov?	Metamorfitas (esquistos, pizarras, filitas, metacuarcitas y gneises)

cimiento Sur, no obstante se definió la estructura resultante verificándose los límites de la Formación Sierra Grande que en profundidad buza hacia el este lo cual permite aumentar considerablemente las reservas de mineral en el yacimiento.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el inestimable apoyo y asesoramiento del ingeniero Victorio Angelelli, quien fuera director del trabajo de tesis del cual forma parte el presente estudio.

Agradece también al doctor Hubert Miller de la Universidad de Münster, Alemania Federal por sus opiniones y sugerencias sobre el análisis estructural del yacimiento.

BIBLIOGRAFIA

- ANGELELLI, V. 1948. La cuenca Ferrífera de Sierra Grande - Dirección General de Fabricaciones Militares - Inédito.
- AVILA, J., 1969. Programa de Perforaciones para ampliar reservas de mineral medido de hierro en el Yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro - Trabajo final de Licenciatura EUCN, UNT - Tucumán - Inédito.
- BRAITSH, O., 1965. Das Paläozoikum von Sierra Grande (Prov. Río Negro, Argentinien) und die Altkaledonische Faltung im Ostlichen Andenvorland - Geologische Rundschau t. 54 München.
- DE ALBA, E., 1964. Descripción Geológica de la Hoja 41 J, Sierra Grande (prov. de Río Negro) - DNGM - Buenos Aires.
- DEMAG AG (investigadores: BRAITSH, O., KLAMMER, G., MÜLLER, H., STADLER, G.). 1963. Estudio Geológico del Yacimiento Sur de Sierra Grande - Duisburg - Inédito.
- FERUGLIO, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia - YPF - Editorial Coni - Buenos Aires.
- GELOS, E. 1977. Metamorfismo de contacto en el Yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro. - Revta Asoc. geol. argent. 32, 2.
- GEOTECNICA S.A. (investigador: ROSSI DEL CERRO). 1951. Informe final del relevamiento magnetométrico en los yacimientos ferríferos de Sierra Grande - Buenos Aires - Inédito.
- HALPERN, M., LINARES, E., LATORRE, C. 1971. Edad rubidio-estroncio de rocas volcánicas e hipabisales del área norte de la Patagonia, República Argentina, Revta Asoc. geol. argent. 26, 2.
- HALPERN M., UMPIERRE, M., LINARES, E., 1970. Radiometric ages of crystalline rocks from South America as related to Gondwana and Andean Geologic Provinces. Actas conf. sobre problemas de la tierra sólida II. Buenos Aires.
- HERRERA, A., 1948. La cuenca ferrífera de Sierra Grande - Banco de Crédito Industrial Argentino, Buenos Aires - Inédito.
- METZ, K., 1963. Geología Tectónica, Omega, Barcelona.
- MÜLLER, H. 1965. Zur Altersfrage der Eisenerzlagerstätte Sierra Grande, Río Negro in Nordpatagonien auf Grund neuer Fossilfunde, Geologische Rundschau, t. 54 - München.
- NAVARRO, H., 1962. Geología estructural de los yacimientos Sur y Este de Sierra Grande, Río Negro D.G.F.M. - Inédito.
- SCHMIDT, W., 1932. Tektonik und Verformungslehre, Berlín.
- TORNQUIST, S., 1959. Informe sobre el relevamiento magnetométrico en Sierra Grande, D.G.F.M. - Inédito.
- VALVANO, J., 1949. Depósitos ferríferos de Sierra Grande, D.I.M. - Buenos Aires - Inédito.
- 1954. Los Yacimientos de Sierra Grande, Territorio Nacional de Río Negro, D.N.M., Buenos Aires - Inédito.
- ZOLLNER, W., 1950. Informe geológico económico preliminar sobre la zona sur del yacimiento Sierra Grande, Territorio Nacional de Río Negro - Buenos Aires - Inédito.
- 1951. Informe geológico económico del yacimiento ferrífero de Sierra Grande, D.N.M., Buenos Aires - Inédito.

JULIO CESAR AVILA

Facultad de Ciencias Naturales - UNT
Miguel Lillo 205
4000 - San Miguel de Tucumán
República Argentina