

AVDA. R. Saenz Peña 710, 3º "B"
CABLES "BEFIA"
TEL: 34 - 8280
30 - 8474

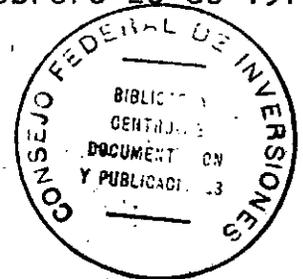
ACONSULT & ASOCIADOS S. R. L.

CAPITAL \$ 500.000.00.-

BUENOS AIRES
CASILLA DE CORREO Nº. 818
CORREO CENTRAL

9970 N° 9644
26-2-71
0
H. 22231
532
II

Buenos Aires, Febrero 26 de 1971



Sr. Secretario General
Lic. Santiago E.J. Gilotau
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
Alsina 1401 - CAPITAL

Ref: DETERMINACION DEL VALOR COMERCIAL
DEL MINERAL DE HIERRO DE ZAPLA,
v/Nota Nº 4830/10311; 9-FEB-71

De nuestra consideración:

De acuerdo a lo dispuesto en su nota de referencia, cumplimos en someter a la consideración de ese Organismo el PRIMER INFORME PARCIAL del estudio arriba mencionado.

Dicho informe está integrado por las versiones definitivas de los capítulos primero y segundo del INFORME FINAL, que recogen todos los antecedentes generales sobre el tema mencionados en la bibliografía internacional; parte del capítulo tercero con mención de las características físico-químicas de las menas de Zapla y otros yacimientos provinciales, costos de las materias primas e insumos, costos operativos del alto horno y una breve mención de la operación de los altos hornos de Zapla vinculados directamente con la evaluación propiamente dicho del mineral de Zapla. Por separado se hace referencia a las políticas de promoción de la minería ferrosa sustentada por las partes involucradas, y se mencionan los objetivos perseguidos por la Provincia de Jujuy con este trabajo.

Sin otro particular, y esperando merecer la aprobación de ese Consejo, nos complacemos en saludarle con nuestra consideración mas distinguida.

DPTO. ASUNTOS ECONÓMICOS	
Fecha:	3-3-71
Agropecuario	
Comercio	
Energía	
Industria	
Rec. Naturales	3-3-71 <i>dey</i>
Transm. y Comunic.	
Turismo	

SUDAMCONSULT Y ASOCIADOS S.R.L.

Ing. Laureano Muñoz
VOCAL GERENTE

0
H. 22231
532
I

AV. BELGRANO 427
CABLES "BEFIA"
34 - 8280
TEL.: 30 - 8474

SUDAMCONSULT & ASOCIADOS S. R. L.

CAPITAL \$ 500.000.00.-

BUENOS AIRES
CASILLA DE CORREO N°. 818
CORREO CENTRAL

DETERMINACION DEL VALOR COMERCIAL
DEL MINERAL DE HIERRO DE ZAPLA.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

26 Febrero 1971

PRIMER INFORME PARCIAL

De acuerdo con el PLAN DE TRABAJOS propuesto, el suscripto ha reunido todos los antecedentes vinculados con la naturaleza de los minerales de hierro y su influencia en el proceso siderúrgico extractivo (CAPITULO I), los principios de evaluación mineral en uso en otros países del mundo (CAPITULO II), y los antecedentes locales necesarios para sugerir una adecuada fórmula de evaluación mineral.

Los primeros fueron obtenidos de la bibliografía internacional especializada, y sus conclusiones fueron consignadas en su versión definitiva en los capítulos mencionados adjuntos. El INFORME FINAL los contendrá sin cambios, de no mediar observaciones de parte del Consejo Federal de Inversiones.

En cuanto a la descripción de la naturaleza mineralógica de los minerales de Zapla, y por extensión el de Santa Bárbara y Unchimé (de la misma formación), se consigna en el Capítulo III; como así también la necesaria referencia a la operación de los altos hornos de Zapla y los costos de materiales y de operación. Estos datos fueron suministrados por las autoridades del Establecimiento de Altos Hornos Zapla, dependiente de la Dirección General de Fabricaciones Militares. El Informe Final contendrá las debidas citas y reconocimiento personal por dichas comunicaciones.

La parte final de este capítulo incluirá además la consignación detallada de las políticas de promoción de la minería ferrosa, sustentada por las partes, y que fueron recogidas en el CONADE, Dirección Nacional Sectorial de Desarrollo, SOMISA y la Dir. Gral. de Fabricaciones Militares. También fué especialmente consultado el Secretario Provincial de Minería de la Provincia de Jujuy. Las conclusiones generales se consignan seguidamente.

POLITICAS DE PROMOCION DE LA MINERIA FERROSA

a) S.O.M.I.S.A.: Estatutariamente tienen reservado un cupo de hasta el 10% de los requerimientos de mineral de hierro, para ser abastecido localmente. Las compras efectuadas hasta el momento, provienen de dos yacimientos de la provincia de Mendoza (C^o Imán y Malal-Hue), dos de la provincia de San Juan (Leoncito y Aluvi^on) y otro de Salta (Unchimé). En ningún caso fué posible mantener, por parte del productor, las especificaciones pactadas, no solo en cuanto al contenido de impurezas y leyes, sino también de las entregas.

Se informó que SOMISA mantendrá dicha política de compra local, aún cuando le significa, al nivel actual de precios, un quebranto de A\$ 25,00/27,00 por tonelada de mineral. Extraoficialmente sabemos que la Empresa vería con sumo agrado la posibilidad de encontrar un medio financiero por medio del cual su pudiese emprender una intensa búsqueda y exploración de cuerpos minerales, por métodos modernos, hasta llegar a la localización y preparación de minas de minerales de hierro capaces de abastecer los altos hornos de San Nicolas con seguridad y con productos uniformes. Una sugerencia vista con simpatía fué la de dar mejor destino a los actuales quebrantos producidos por el actual suministro.

b) ALTOS HORNOS ZAPLA-DGFM: Decididamente el mayor problema del Establecimiento es la baja ley del mineral alimentado. Por lo tanto, es política de AHZ adquirir solamente mineral de alto ley

con miras de mezclarlo con el mineral de producción propia, y elevar la ley media de la carga del alto horno, y aumentar su capacidad con la consiguiente reducción de los costos de operación. En consecuencia, AHZ no compra mineral en la zona con menos del 50% Fe y, como se deduce de las consideraciones expuestas en los capítulos I y II, esta posición difícilmente podría ser modificada sin serio detrimento económico de la instalación. Estas condiciones, creemos por los antecedentes reunidos (capítulo III), difícilmente podrían ser satisfechas por proveedores provinciales. En la actualidad, AHZ ha estado comprando mineral chileno (62% Fe) y boliviano (60% Fe).

c) CONADE-DNSD: Ambas Reparticiones fueron visitadas al mas alto nivel. También se consultaron los programas de desarrollo minero previstos para el próximo quinquenio. En ninguna parte se ha considerado la minería ferrosa en forma particular, con excepción de los planes concretos vinculados con Sierra Grande.

d) PROVINCIA DE JUJUY: Debido al reciente cambio de Secretario de Minería, el actual titular no disponía aún de ningún programa de desarrollo de la minería ferrosa de ámbito provincial. Tampoco era de su conocimiento los detalles y objetivos básicos del presente estudio. No obstante ello las conclusiones de este trabajo serían usadas para negociar la regalía a percibir de parte de AHZ-DGFM por sus explotaciones mineras dentro de la provincia. En tal sentido se orientará la estructura de la fórmula de evaluación mineral a proponer en el informe final.

Ing. Laureano Muñiz

AV. BELGRANO 427
CABLES "BEFIA"
TEL.: 84 - 6280
80 - 8474

SUDAMCONSULT & ASOCIADOS S. R. L.

CAPITAL \$ 500.000.00.-

BUENOS AIRES
CASILLA DE CORREO N° 618
CORREO CENTRAL

DETERMINACION DEL VALOR COMERCIAL DEL MINERAL DE HIERRO DE ZAPLA (Provincia de Jujuy)

1. GENERALIDADES

A diferencia de lo que sucede en las prácticas de comercialización de menas no ferrosas, como las de cobre, zinc, plomo, etc., las transacciones comerciales de los minerales de hierro están sujetas a pautas particulares. Estas dependen no solo de la naturaleza fisico-química de la mena, sino también de ciertos factores locales o nacionales de evidente trascendencia económica. En el caso de nuestro país, aspirante a tener una industria siderúrgica consolidada y autosuficiente, el segundo aspecto de la evaluación cobra singular importancia en vista de la escasez de depósitos conocidos de magnitud y características internacionales.

No obstante esta aparente falta de uniformidad en la determinación del valor comercial de las menas ferríferas, en general se sigue un criterio de base mineralógica modificado luego por los factores locales aplicables que, como en nuestro caso particular, serán definidos por el tipo de planta siderúrgica y conforme a las políticas sustentadas por las partes involucradas para el desarrollo de la minería ferrosa.

Para estimar el valor comercial del mineral de hierro de Zapla, y por extensión el de otras menas de la zona, elaboraremos un esquema básico de evaluación mineral en función de las prácticas operativas adoptadas en los ALTOS HORNOS ZAPLA dependiente de la

Dirección General de Fabricaciones Militares, centro receptor natural de la producción de los depósitos ferríferos provinciales. Una somera revisión de los tipos de menas ferríferas y la influencia de sus impurezas en la producción de arrabio y acero, nos ayudará por último a comprender las razones y alcances de la fórmula propuesta.

1.1) LAS MENAS FERRIFERAS.

Existe un gran número de especies minerales que contienen hierro, pero solo muy pocas tienen valor comercial, es decir, llegan a constituirse en menas ferríferas. El tenor de hierro, o contenido metálico, y su composición mineralógica son los factores fundamentales de su valor económico. La composición mineralógica de las menas ferríferas determinan en general, cual será el método de extracción metalúrgico más adecuado y conveniente. Por tal motivo, se las suele clasificar según cuatro grupos principales: óxidos, silicatos, carbonatos y sulfuros.

1.1.1) Oxidos Férricos

Constituyen sin duda alguna la fuente principal del hierro de la siderurgia mundial. Dentro de este grupo, aún pueden distinguirse tres subgrupos de comportamiento distinto tanto en la preparación pre-metalúrgica, como en el proceso extractivo del alto horno. Ellos son:

a) Menas Hematíticas: Su componente básico es la HEMATITA (Fe_2O_3), con un contenido metálico del orden del 70% Fe. Alrededor del 80% de las menas alimentadas a los altos hornos de todo el mundo son de este tipo. El peso específico de la hematita pura es de 5,0 pero puede darse el caso que el p.e. aparente sea

de apenas 1,6, debido a su gran porosidad.

Las variedades de hematita encontradas en los depósitos en explotación son numerosas. Sus características particulares, a veces, puede llegar a imponer modalidades propias en su proceso metalúrgico. Entre las más conocidas se pueden mencionar la HEMATITA ROJA (hematita normal), HEMATITA ESPECULAR (metamórfica), HEMATITA OOLITICA (tipo Lorena) y la HEMATITA CLINTON (con carbonatos cálcicos). La hematita es muy propensa a presentarse con impurezas, en cuyo caso su concentración o purificación pre-metalúrgica suele ser un tanto complicada. Pero en la mayoría de los casos, la única preparación requerida para el alto horno es una reducción de tamaños (trituración), seguida de una clasificación granulométrica por cribado.

b) Menas Magnetíticas: La MAGNETITA (Fe_3O_4) es el mineral ferrífero con mayor contenido metálico (72,4% Fe), y además posee excelentes propiedades magnéticas no igualadas por ningún otro mineral. Esta característica es la que habitualmente se utiliza con éxito en el tratamiento pre-metalúrgico. Su peso específico también es de 5,0. Suele ocurrir con impurezas (roca-caja, otros óxidos metálicos, caliza, apatita, etc.) que son fácilmente separadas con separadores magnéticos de baja intensidad y/o métodos de concentración gravitacional. Solo un 5% del suministro mundial lo aporta este tipo de mena.

El yacimiento de Sierra Grande contiene este tipo de mena, con franca preponderancia sobre el hematítico.

c) Menas Limoníticas: Comúnmente el término Limonita se aplica más bien a un grupo de óxidos férricos más o menos hidratados, de una composición indeterminada, que a una especie mineralógica definida. Estos óxidos, de coloración marrón-amarillento-

to y aspecto terroso, carecen de una identidad bien clara siendo sus componentes miembros de series de un mayor o menor grado de hidratación, con otros compuestos incorporados. La GOETHITA ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) sería el componente menos hidratado. Otros minerales comunes, de creciente grado de hidratación, serían la TURGITA, LIMONITA y LIMNITA. El contenido metálico es siempre muy variable, pero excepcionalmente puede llegar a 50% o 60% Fe. El peso específico aparente también puede oscilar entre valores muy amplios, en el estado natural de agregación.

Aunque la distribución de estos minerales se encuentra en el mundo muy difundida, raramente se presentan en concentraciones y condiciones de ser utilizados. Además de sus características fisico-químicas desfavorables para el alto horno, la intensa contaminación de impurezas con que frecuentemente vienen acompañados, hace de estos minerales limoníticos un material difícilmente tratable con los métodos convencionales.

Las lateritas de Misiones pertenecen a este grupo.

1.1.2) Silicatos Férricos

Son los de menor interés desde el punto de vista de la fuente de hierro metálico. En general sus depósitos no son explotados a menos que ocurran asociados con otros óxidos férricos (hematita, magnetita), o se pueda contar con menas más ricas (o cálcicas) en las cercanías o de importación, para mezclarlas en la carga del alto horno. Las especies mineralógicas más frecuentes son CHAMOSITA, CLOROPAL, THURINGITA, MINNESOTITA, GREENALITA y varias otras. La chamosita es el componente más importante de los depósitos británicos y de Terranova (Canadá). Inglaterra, Alemania y Francia suelen mezclar sus menas excesivamente silíceas (o pobres) con mineral rico importado de Suecia.

Los depósitos ferríferos de la formación ZAPLA pertene-

cen a este tipo de mena.

1.1.3) Carbonatos Férricos

El miembro mas importante de esta clase es la SIDERITA (FeCO_3), con un contenido de 48,3% Fe, y un peso específico de 3,5. Comunmente las menas de este tipo se presentan en realidad como carbonatos dobles de hierro y otro metal alcalino-térreo, debido a la doble basicidad del ácido carbónico, tomando el nombre de HIERRO ESPATICO. Una calcinación debe preceder al tratamiento metalúrgico propiamente dicho. A veces su contenido en Ca puede tornarlas en menas autofundentes, propiedad altamente deseada. La importancia de esta clase de menas como fuente de hierro, son insignificantes.

1.1.4) Sulfuros de Hierro

La PIRITA (FeS) es el componente básico. Otros sulfuros de hierro y otro metal, también pueden ser eventualmente utilizados como fuente de hierro. La extracción metalúrgica se inicia con una tostación oxidante de los sulfuros, con simultaneo aprovechamiento del azufre como SO_2 , su componente más valioso. Las calcinas se procesan mas o menos de la misma forma que los óxidos naturales aglomerados. Debido al alto contenido de azufre residual en las calcinas, su procesamiento metalúrgico es un tanto caro y por lo tanto muy poco utilizado.

1.2) EL TRATAMIENTO PREMETALURGICO

Hasta no hace muchos años, los depósitos ferríferos explotados producían menas con leyes y condiciones aptas para ser cargadas directamente al alto horno. Un proceso de trituración y clasificación era todo cuanto se requería para almacenarse en las canchas de las plantas siderúrgicas. El paulatino agotamiento de

esos yacimientos, especialmente en los países altamente industrializados, indujo la explotación de otros mas pobres, de menas mas complejas, y a prepararlas para el alto horno.

El desarrollo del beneficio de menas ferríferas se debió no solo a la mencionada escasez temporaria de menas ricas, sino también a la necesidad de usar finos recuperados de residuos de la fabricación de hierro y acero (polvos, cascarillas, etc.). Otra causa determinante, no menos importante, fueron las ventajas operativas observadas en el alto horno cuando se utilizaban menas preparadas de composición uniforme, porosidad y resistencia mecánica controlada y una distribución granulométrica optimizada. En efecto, una carga en estas condiciones permitió una sustancial economía de coque (cuyo valor total oscila entre el 20% y el 80% del costo total de la carga), y un mejor rendimiento en la producción del alto horno.

De este modo, el concepto de "menas ricas" y "menas pobres" ha perdido en la actualidad mucho de su anterior significado, siempre que se aplique a menas beneficiables. Menas del 20-25% Fe, consideradas industrialmente antieconómicas, hoy día son concentradas hasta tenores mas altos que el de las menas naturales mas ricas, y con propiedades fisico-químicas preparadas en óptimas condiciones no encontradas en la naturaleza.

El tratamiento de los minerales de hierro puede realizarse tanto antes del ingreso al horno, como dentro del mismo, con una carga apropiada, o en ambos lugares. La tendencia moderna es la de preparar, al máximo posible, las menas antes de su carga al horno, dejando las variables de carga y operación del horno reducidas al mínimo. Una consecuencia de esta nueva tendencia es el uso creciente de pellets autofundentes. Todas estas operaciones, previas a la carga de las materias primas, se las suele denominar tratamiento premetalúrgico.

1.2.1) Tratabilidad de las Menas de Hierro

No todas las menas, son tratables, ni las que lo son responden del mismo modo al tratamiento. Siguiendo a Erikson, según sea la forma natural de ocurrencia de las impurezas, estado de agregación y composición mineralógica, podrían distinguirse tres clases de minerales ferríferos:

a) Minerales Comerciables: Son aquellos que poseen tenores de hierro e impurezas aceptables dentro de las especificaciones comerciales vigentes, y sus propiedades físicas son aptas para ser usadas directamente en el horno. El único tratamiento requerido es la trituración y cribado para cumplir con las especificaciones granulométricas.

b) Minerales Lavables: Pueden tener o no el tenor mínimo de hierro, pero en todo caso las impurezas son fácilmente eliminables por simple lavado, ya sea porque éstas tienen una naturaleza terrosa (arcillas, silicatos finos, etc.) a una agregación gruesa totalmente liberada (5-10 mm.). Las operaciones aplicables son la trituración/cribado y lavado en bateas lavadoras (log washers), cribas pulsantes (jigs), separadores de medios densos, lavadores elicoidales, espirales Humphrey, etc.

c) Minerales Complejos: A diferencia de los anteriores, las impurezas de estos minerales están finamente diseminadas en la masa del mineral de hierro, debiéndose recurrir a una reducción de tamaño muy superior. Los métodos normales de concentración y depuración son: molienda/clasificación, separación magnética, hidrociclado, calcinación, tostación magnetizante y aglomeración.

1.2.2) Preparación Mecánica

Nos permitimos adoptar este término, comunmente usado

en un sentido mas amplio, para designar a las operaciones preliminares de trituración, cribado y mezcla, sin afectar directamente las proporciones relativas de los componentes mineralógicos de las menas.

La reducción de tamaño del material de mina se lleva a cabo en trituradoras primarias, secundarias y hasta terciarias, con cribados en circuito cerrado. Las clases granulométricas varían un poco según sea el tipo de mineral. El tamaño óptimo para las hematíticas es de 100x20 mm., el de las magnetíticas, de 50x10 mm., y para una mena de alta calidad para acero, de 40x20 mm. En general se estipula un tamaño máximo de 4 veces el límite inferior, para dar una carga de excelente permeabilidad al pasaje de los gases.

La mezcla o corte de menas de diferente origen con fines de homogeneización, o de composición de carga de una característica determinada, se realiza en pilas o bunkers especiales con dispositivos de mezcla, en la planta siderúrgica.

1.2.3) Concentración Mineral

Comprende todas las operaciones físicas por medio de las cuales el tenor de hierro se eleva, y simultaneamente se reduce o elimina el contenido de impurezas indeseables o estériles.

a) Lavado: Es la operación mas barata. La eliminación de lamas, finos y materiales terrosos que impurifican el material se efectúa por medio de bateas de paletas lavadoras (log washer), cribas pulsantes, clasificadores helicoidales e hidroclasificadores. Previamente, para aflojar las incrustaciones del material terroso, se suele atricionar el material especialmente cuando se trata de fracciones granulométricas medianas o finas. Las operaciones de lavado pueden ser seguidas de una selección manual sobre cinta transportadora, con extracción de esteril de + 30 mm.

b) Concentración Gravitacional: Debido a que casi todos los minerales de hierro tienen un elevado peso específico, comparado con el de sus impurezas habituales, la concentración gravitacional casi siempre ha sido un recurso usado con gran éxito y economía. Los aparatos mas comunes son las cribas pulsantes y las espirales Humphrey (para arenas). Ultimamente se está usando como un elemento concentrador de gran capacidad y rendimiento; son los separadores de medios densos, con suspensiones de Fe-Si.

c) Separación Electromagnética: Entre los minerales de hierro, la magnetita muestra una notable atractabilidad magnética. Con un valor de 40,2 (Taggart), le sigue la ilmenita con 24,7 y por debajo de 1,5 todas las demás impurezas encontradas en sus menas. Esta propiedad diferencial ha sido y es permanentemente utilizada, ya sea en seco o en húmedo, para concentrar las menas magnéticas con separadores de baja intensidad. Menas de + 6 mm. se concentran en seco, entre 6mm y 0,1 mm pueden tratarse tanto en seco como en húmedo, y por debajo de 0,1 mm, solamente en húmedo.

d) Flotación: Los minerales de hierro son difícilmente flotables, y los intentos realizados hasta hace unos pocos años no dieron los resultados esperados. Sin embargo con la aparición de nuevos reactivos (tenso-activos), con flotación directa o inversa, han renacido las esperanzas de aplicar este método tan versatil y efectivo en la concentración de otros minerales.

1.2.4) Tratamiento Térmico

a) Secado, Calcinación y Tostación: A veces el contenido de humedad del mineral o su alto contenido en carbonatos, no permiten su carga directa al horno sin alterar o perturbar su operación normal por el exceso de gases o desbalance de la composición de los mismos y/o generación de finos por decrepitación. En otras ocasiones, la única forma de concentrar ciertas menas hematíticas (no magnéticas) es tornarlas magnéticas mediante una tos-

tación magnetizante (reductora), seguida de la separación magnética convencional. Todas estas operaciones se hacen en conocidos reactores.

b) Aglomeración: Ya desde los comienzos de la industria siderúrgica se advirtió la necesidad de utilizar los finos producidos en la trituración de los minerales ferríferos, y de los polvos y cascarilla colectados en la fabricación de arrabio y su laminación. El primer proceso utilizado fué la SINTERIZACION, consistente en una incipiente fusión de una capa de finos mezclados con coque. Esta operación se hace en calderos (discontinuo) o en sinterizadores tipo Dwight-Lloyd (continuos).

El segundo método, practicado en la actualidad con mayor difusión principalmente a concentrados minerales, es la PELETIZACION. Los concentrados, o materiales finamente divididos, son aglutinados con un pequeño porcentaje de bentonita y otros agregados, en pequeñas esferitas de 10-20 mm, las que son secadas y luego sinterizadas en un horno rotativo. Los pellets constituyen la carga óptima para el alto horno, tanto por sus propiedades químicas (que puede ser autofundente) como mecánicas (alta resistencia y permeabilidad).

1.3) EL ALTO HORNO

Sin duda alguna, el alto horno es el mas importante de los reactores utilizados para extraer el hierro de sus menas. Consiste en una cuba vertical en forma de uso. El mineral se introduce por su parte superior junto con el coque, que lo reducirá y fundirá, y la caliza y otros componentes que escorificarán las impurezas del hierro. Todo este material constituye la carga del alto horno. El hierro fundido (arrabio) y las escorias se sangran de la parte inferior (crisol) por conductos a distinto nivel, mientras que los gases escapan por la parte superior.

Una carga normal con menas de hierro de 50% Fe, requiere algo más de 2 Ton. de mineral, 0,9 Ton. de coque y 0,4 Ton. de caliza para dar una ton. de arrabio y 0,5 Ton. de escoria. El tamaño del alto horno influye considerablemente en los costos de producción, especialmente en el consumo de coque. Este puede ascender hasta 1,5 Ton./Ton. arrabio en horno de hasta 200 tpd. pero dicho consumo puede reducirse a 0,6 Ton. y aún menos, usando mineral aglomerado en la carga.

1.3.1) La Carga del Alto Horno

Como ya se dijo, tanto la composición química como las características físicas de las menas ferríferas juegan un papel decisivo en la adaptabilidad de éstas para ser tratadas en el alto horno. Resumimos a continuación la importancia de esos factores y su participación en la evaluación de minerales de hierro.

a) Contenido Metálico: El contenido de hierro y la forma en que se presenta son los factores alrededor de los cuales gira toda la operación del alto horno. El tenor de las menas utilizadas varía considerablemente, pudiendo oscilar entre los 20% y 71% Fe. El resto de la mena son impurezas que hay que eliminar en las escorias.

En cuanto a las formas mineralógicas, la hematítica es la más fácilmente reducible, mientras que las magnetíticas son más reacias. A veces se las debe precalentar en ambiente oxidante para pasar todo el Fe al estado férrico. Las limonitas y las menas carbonatadas originan agua y CO₂, pero se reducen con facilidad. Por último, las menas silíceas, de reacción ácida, requieren un mayor consumo de fundentes y combustible al aumentar la cantidad de escoria.

Una buena base de comparación de menas ferríferas suele

ser la cantidad de escoria producida por ton. de arrabio, incluyendo la caliza y cenizas del coque agregado. Según datos muy conocidos en Gran Bretaña y Alemania Occ., se estima que por cada aumento de 100 Kg. de escoria por ton. de arrabio, el consumo de coque aumenta en 40 Kg., asumiendo condiciones operativas mas o menos similares.

b) Contenido de Minerales Escorificantes: Los materiales no férricos de la carga, que forman la escoria de la fundición, se dividen en dos grupos según su comportamiento químico. Ellos son los componentes ácidos, representados principalmente por la sílice y la alúmina; y los componentes básicos, por la cal y la magnesia. Ambos constituyentes, ácidos y básicos, deben estar presentes en una relación definida llamada INDICE DE BASICIDAD, que es fijo para un horno y carga determinados en condiciones óptimas operativas. Las menas naturales difícilmente reúnen tales condiciones. Los defectos de uno u otro componente deben corregirse mediante agregados al horno, o a los pellets durante su fabricación.

- Sílice (SiO_2): La mayor parte de la sílice se presenta como cuarzo y/o silicatos, normalmente eliminados en gran medida durante el tratamiento pre-metalúrgico hasta alcanzar el valor deseado. Sin embargo menas pobres (20%-30% Fe), con alto contenido silíceo, pueden ser directamente utilizadas pero mezcladas con otras mas ricas (+ 60% Fe), como se practica en Gran Bretaña, Francia y Alemania Occ.; o mezclarse con menas calcareas (Lorena, Francia) para formar una carga autofundente. La mayor parte del Si se combina con el Ca para que, junto con la alúmina formen la escoria (silicatos y aluminosilicatos cálcicos). Solo una pequeña porción se combina con el Fe para dar un compuesto (FeSi) soluble en el arrabio, especialmente a alta temperatura (1200°C) y en un ambiente reductor, pero luego es facilmente eliminable.

- Cal (CaO) y Magnesia (MgO): Normalmente son agregados

a la carga del horno como carbonatos (caliza y dolomita), para neutralizar la reacción de las menas de ganga silicea (ácida) y formar la escoria a temperaturas y condiciones adecuadas. Los carbonatos se descomponen entre los 800°C y 950°C, con un consumo de 15-25,000 Kcal/Mol.

Para la eliminación de las impurezas del hierro y hasta el 1% S, se necesita un mínimo de 400 Kg. de escoria/Ton. arrabio.

- Alúmina (Al_2O_3): La alúmina y los aluminosilicatos son aportados por la ganga de las menas de hierro, y también en la caliza y el coque. En ninguna de sus formas los compuestos del Al son reducidos en el alto horno, pero ejercen una marcada influencia en la fluidez y punto de fusión de la escoria, y aumenta su poder desulfurante. Con menos del 10% Al_2O_3 , el comportamiento de la escoria es insatisfactorio; hasta el 15%-20%, la operación es normal; pero si el contenido excede el 25%, la viscosidad de la escoria aumenta considerablemente pudiendo ocasionar serios problemas en la operación del horno.

c) Contenido de Impurezas: Estas pueden ser beneficiosas y hasta ser introducidas intencionalmente en la carga, o perniciosas debiendo ser eliminadas en las escorias.

- Manganeso: Es un elemento cuya presencia en la carga es altamente deseada para ayudar a la desulfuración y desoxidación del arrabio y del acero. Sustituye al hierro del FeS para dar MnS que flota en el baño fundido y escorifica. Del 50% al 75% del Mn presente pasa al arrabio, especialmente a altas temperaturas y con escorias básicas. El manganeso se alea con el hierro en todas proporciones. Para que el manganeso tenga un efecto desulfurante apreciable, debe estar presente en el arrabio por encima de los 2%. Sin embargo un exceso del mismo resulta inconveniente en el proceso Bessemer por su mayor demanda de combustible.

- Fósforo: Es el único elemento sobre el cual el operador del alto horno no puede ejercer control alguno. Todos sus compuestos presentes en la carga son reducidos y pasa casi íntegramente al arrabio. El Fe_3P formado es soluble en el arrabio fundido y forma parte de él. El método ácido (Bessemer) de fabricar acero solo admite hasta 0,025% P en el arrabio, lo que equivale a 0,0009% P/% Fe en la mena, y el límite máximo en ella es de 0,045% P. En el proceso básico (Thomas), el arrabio puede contener de 1,7% P a 2,0%, y para la mena la tolerancia es de hasta 0,2% P/% Fe.

- Azufre: Pocas menas de hierro contienen azufre en cantidades apreciables. Alrededor del 80% del S es aportado a la carga por el coque. Generalmente está presente como FeS y en esa forma se incorpora al arrabio, pero también puede estar como sulfato (yeso). Gran parte de esta impureza se escorifica a altas temperaturas en ambiente reductor y con escorias básicas (índice de basicidad (IB) mayor que 1), en cuyo caso se forma CaS . Para que la eliminación sea total, según sean otras condiciones operativas, la cantidad media de escoria debe estar en alrededor de los 400 Kg/Ton arrabio. La eliminación posterior del S residual en el arrabio es un proceso complicado y caro. Por tal razón, los arrabios destinados a la fabricación de acero no deben contener más de 0,05% S. Una cantidad mayor torna a aquél muy quebradizo en caliente.

- Cobre: Pasa al arrabio totalmente y no se puede eliminar. Un contenido superior al 0,3% Cu en el acero origina problemas en la laminación, aunque este efecto puede corregirse con un agregado de níquel o cobalto.

- Zinc: No pasa ni al arrabio ni a la escoria. Escapa con los gases como vapor pero tiende a formar costras de ZnO condensado en los conductos de humos, estrangulándolos. También se combina con la alúmina de los refractarios, expandiendo los ladrillos ocasionando la rotura de los revestimientos.

- Titanio: Se escorifica incrementando la viscosidad de la escoria cuando su contenido es superior al 1,5% Ti. Ingres a la carga como ilmenita ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) o rutilo (TiO_2), y su contenido es siempre inferior al 2% Ti.

- Vanadio: Pasa en su totalidad al arrabio, pero es fácilmente escorificado en la acería, pudiendoselo recuperar.

- Arsénico: Ingres a la carga como arsenopirita (FeAsS) que en gran medida puede eliminarse durante el tratamiento pre-metalúrgico, especialmente en las operaciones de tostación y aglomeración (sinterización). Aunque su presencia no es frecuente en las menas de hierro, todo el contenido de la carga pasa al arrabio, pero con posterioridad puede eliminarse en el convertidor de oxígeno.

d) Otras Impurezas Nocivas: El plomo, níquel y cromo, aunque en cantidades insignificantes, también pueden estar presentes en la carga de los altos hornos. El plomo, por su alto peso específico, se acumula en el fondo del crisol, penetrando entre las uniones de los ladrillos y destruyéndolos. El Ni y el Cr, en cambio, ingresan al arrabio y su influencia en el posterior proceso de conversión es nulo o beneficioso.

e) Propiedades Físicas: La granulometría, la friabilidad y el peso específico son las principales características físicas que mayor influencia tienen en la operación del alto horno. Una adecuada distribución granulométrica confiere a la columna de carga óptimas condiciones de permeabilidad al pasaje de gases. Esta varía según el tipo de mineral alimentado; con pellets y menas duras los tamaños oscilan entre los límites de 1/4" y 1.1/4".

Un mineral de alto horno debe ser tenaz y resistente a la abrasión, para evitar pérdidas de finos.

2. EVALUACION MINERAL

2.1) PRINCIPIOS DE CALCULO

Frecuentemente por distintas circunstancias y propósitos, en la industria siderúrgica es preciso efectuar estimaciones del valor de las menas de hierro. Según sean la precisión y los objetivos perseguidos, existen varios criterios de cálculo.

Una primera evaluación estimativa podría estar basada solamente en el contenido de hierro, o en el de hierro y sílice. Este dato es de escasa aplicabilidad y valor, tanto para las transacciones comerciales como para el operador mismo.

Un cálculo mas ajustado a las reales bondades del mineral considerado, en lo que a su metalurgia y comercialización se refiere, también debe considerar otros aspectos de naturaleza además de su contenido metálico. Composición mineralógica, friabilidad, impurezas nocivas, etc., son factores que pueden incidir decisivamente en la economía de todo el proceso, y por lo tanto deben tener su interpretación en la fórmula de evaluación mineral, de un modo u otro. La elaboración de esta ecuación matemática no es una tarea sencilla. La mayor dificultad proviene del hecho de que hasta el presente, no se conocen debidamente las interrelaciones de los mencionados factores y su consecuencia en los costos de producción. El control de las reacciones, su balance térmico, características operativas, etc., que tienen lugar en el alto horno, aún se llevan a cabo empíricamente conservando el operador mucho de su pasada mística artesanal. Es cierto que ahora cuenta con más y mejores materias primas e instrumentos de medición, pero el proceso en conjunto todavía depende esencialmente de su experiencia y habilidad. La cuantificación de las influencias de las caracte-

rísticas minerales resulta así un proceso extremadamente complicado, que requiere la compilación estadística de los resultados de la operación de varios hornos con distintas menas, y su posterior análisis e interpretación por personal especializado. Ello no quiere decir que la elaboración de una fórmula de cálculo sea una tarea prohibitiva para nuestro caso particular. Por el contrario, como se verá mas adelante, existen fórmulas de cálculo de creciente complejidad y precisión, aplicables en la medida que se cuente con la necesaria información.

2.1.1) El Valor Metalúrgico

El criterio de evaluación mas completo, práctico y objetivo desde el punto de vista económico y técnico, es el VALOR METALURGICO (VM) o valor relativo. Está definido por el precio (o valor) máximo que podría pagarse por la mena sin que se incremente el costo de producción del arrabio o acero. Desde luego, este valor no necesariamente debe coincidir con el costo real del mineral o su precio de venta definitivo, pero sí puede ser una excelente referencia para fijarlo, definir alcances de su tratamiento premetalúrgico, establecer tasas y regalías, etc.

Por definición, para estimar el VM de menas de diferente naturaleza y origen, se requiere partir de un valor fijo para el costo del arrabio según se expresa en la siguiente relación:

$$S = B + C_o + C_g \quad (1)$$

Donde: S= Costo del arrabio (\$/Tn)
B= Costo de la carga (\$/Tn. arrabio)
C_o= Costo operativo del AH (\$/Tn. arrabio)
C_g= Costos generales: amort., adm., cap., etc. (\$/Tn. arr.)

Para que esta fórmula sea válida, las condiciones de la fundición deben ser mas o menos similares.

Otra fórmula de cálculo usada por varios autores, a ve-

ces con factores mas detallados que en el caso anterior, puede ser resumida en la siguiente ecuación:

$$VM = (S - C_f) R \quad (2)$$

Donde: VM = Valor metalúrgico de la mena (\$/Tn)
S = Valor del arrabio (\$/Tn)
C_f = Costo de la fundición (\$/Tn arrabio)
R = Rendimiento de Fe/Tn. mena

Este valor se refiere a la mena s/planta siderúrgica. Si se desea conocer su valor en mina, deberá descontarse el flete y demás gastos de manipuleo.

La mayor dificultad encontrada en la aplicación de estas fórmulas reside en la determinación del valor del costo de la fundición, por ser ésta una magnitud variable entre carga y carga. Por razones obvias, un registro detallado del mismo raramente se lleva en las plantas. En consecuencia, se han sugerido varias fórmulas de cálculo que, aunque aproximadas, satisfacen ampliamente los propósitos de la evaluación mineral. En efecto, lo que realmente interesa en la mayoría de los casos son las diferencias del valor entre una mena tipo y las menas comparadas, y no valores absolutos.

Una simplificación adicional puede lograrse desechando factores tales como la humedad y la granulometría, facilmente controlables. Impurezas de escasa frecuencia y contenido, cuya influencia en la carga sea de relativa importancia como la alúmina y la magnesia, también podrían ser descartadas de las fórmulas de evaluación en los casos de similitud con la mena patrón.

Finalmente, los cálculos pueden simplificarse considerablemente sin pérdida de precisión, mediante la introducción de coeficientes para algunos insumos y gastos deducidos estadísticamente. Cada región o país ha elaborado su fórmula propia, con coeficientes acordes con las modalidades operativas y menas disponibles, pudien-

do diferir sustancialmente entre sí, incrementado por la consideración de otros factores locales o subjetivos.

2.2) ALGUNAS PRACTICAS INTERNACIONALES

Las transacciones internacionales de menas ferríferas están regidas por la ley de la oferta y la demanda, salvo raras excepciones de intercambio bilateral pactado entre gobiernos, según especificaciones de contenidos metálicos, impurezas y propiedades más o menos concordantes. Este criterio de evaluación también predomina en el mercado interno de algunos países de libre comercio.

Sin embargo, en aquellos países donde la industria siderúrgica está en manos del estado, o la regula en forma directa, el criterio de evaluación se establece según pautas nacionales sobre el particular, además de las propiedades naturales de la mena. El valor obtenido puede diferir sustancialmente del que corresponde al material de importación. Estimamos que los siguientes casos ilustrarán satisfactoriamente el problema.

2.2.1) Inglaterra

Un método frecuentemente usado en este país, de siderurgia nacionalizada, es calcular el valor de la mena en cuestión deducido del costo del arrabio (o acero) que resultaría si se fabricase con una mena tipo. En otras palabras, el VM de las menas A y B (siendo A la mena patrón) puede determinarse calculando el costo del hierro producido por A y el costo del hierro producido por B, expresando el segundo en términos del primero.

The Iron and Steel Board usa la siguiente fórmula para estimar el valor medio de las menas:

$$S = C_M + C_F + C_K + C_O + C_C \quad (3)$$



Donde: S = Costo del arrabio (\$/Tn)
C_M = Costo de la mena (\$/Tn arrabio)
C_F = Costo de los fundentes (\$/Tn arr.)
C_K = Costo del coque (\$/Tn arr.)
C_O = Costo operativo (\$/Tn arr.)
C_C = Costo del capital (\$/Tn arr.)

a) Costo de la Mena (C_M): Incluye además del minado, el de la preparación premetalúrgica. Está determinado por la siguiente relación:

$$C_M = a.M.P_a + d.M.P_t \quad (3)$$

Donde: a = % Fe en la mena.
M = Cantidad de mena requerida para producir una tonelada de arrabio.
P_a = Precio del punto de Fe.
d = Proporción de mena que necesita ser triturada.
P_t = Costo de la trituración

b) Costo de los Fundentes (C_F): La cantidad de caliza (f₁) y de sílice (f₂) necesaria para producir la escoria adecuada se calcula por la relación CaO/SiO₂, índice de basicidad, establecida para la operación del AH. Cualquiera de los fundentes que no sea necesario agregar, su coeficiente será nulo en la siguiente fórmula de cálculo:

$$C_F = F_1.P_{f1} + F_2.P_{f2} \quad (5)$$

Donde: F₁ = Cantidad de caliza por ton. arrabio.
F₂ = Cantidad de sílice por ton. arrabio.
P_{f1} = Precio de la caliza (\$/Tn).
P_{f2} = Precio de la sílice (\$/Tn).

A veces hay que agregar a este costo, el de sinterización de los finos de las menas de hierro junto con su fundente. En tal caso, su costo resulta del siguiente cálculo:

$$C_S = (e.M + F'_1 + F'_2)P_S \quad (6)$$

Donde: C_S = Costo de sinterización (\$/Tn).
e = Proporción de finos producidos.
F'₁ = Cantidad de caliza utilizada.
F'₂ = Cantidad de sílice utilizada.

Resumiendo, el total de la carga del AH, excluido el

coque, está dado por la siguiente relación:

$$B = M(1-e) + g.e.M + 0,56 F_1 + F_2 \quad (7)$$

Donde: B = Cantidad de carga, por ton. arrabio (excluido el coque) y expresado en Kg.
g = Relación de peso mena desp. sintn./peso mena antes sint.

El coeficiente de 0,56 (CaO/CaCO₃) es suficientemente exacto para los propósitos de la fórmula.

c) Costo del Coque (C_K): El consumo teórico de coque para las menas británicas, según una comunicación de Leckie y Waring, puede estimarse en

$$K = 0,24 B + 148 \text{ (Kg)} \quad (8)$$

sin embargo, por razones mnemotécnicas y con resultados prácticos equivalentes, los requerimientos de coque se calculan con

$$K = 0,2 B + 200 \text{ (Kg)} \quad (8')$$

d) Costos Operativos (C_o): Los costos de producción del AH dependen basicamente del peso de la carga por tonelada de arrabio, el diámetro de la cuba y la producción diaria de hierro. Pero como las estimaciones generalmente se hacen para un horno o planta determinada, el diámetro pasa a ser una constante siendo eliminado de la fórmula de cálculo, que queda como sigue:

$$C_o = k_1.B + k_2 \quad (9)$$

Donde: k₁ y k₂ son constantes.

El costo operativo del AH está compuesto de una parte constante (costos directos) por ton. de arrabio, y por otra que varía en razón inversa con la producción (costos fijos). Si ésta última es solo una pequeña fracción de la primera, C_o varía en función del consumo de coque.

e) Costo de Capital (C_c): Puede incluir la amortización, intereses y, si se especifica, también las utilidades, todos expresados en % sobre el costo de capital.

sados en porcentos. La fórmula es:

$$C_c = m/100 H \quad (11)$$

Donde: m = Cargas de capital*(int. amort. util.)
 H = Costo del alto horno en £/tpa de arrabio.

Para las condiciones de Gran Bretaña $H = 30 - 0,25 a$

Resumiendo, el costo total por tonelada de arrabio resulta de la suma de los items a/e, cuyos factores son todos conocidos, excepto P_a , valor del punto de Fe de la mena problema. Este puede ser despejado y establecerse las necesarias relaciones con los otros factores para determinar el VM de la mena.

2.2.2) Suecia

La Asociación de Fundidores, y la de Minas de Suecia han producido una minuciosa fórmula para expresar el valor relativo o VM de los concentrados, válida para las condiciones imperantes en dicho país. No obstante ello, puede ser adaptada a otras condiciones con solo modificar concordantemente los coeficientes.

$$V_c = u.Fe + 18 P_{f1}(CaO+MgO) - 26,8 P_{f1} + (10,2 P_k + 12,75 D)SiO_2 \quad (12)$$

Donde: V_c = Valor del concentrado (Cor.Suec./Tn)
 u = Valor del % Fe en el concentrado.
Fe, SiO_2 , etc. = %
 P_k = Precio del coque (CS/Tn)
 D = Otros gastos de producción (CS/Tn)

Los requerimientos de coque también pueden expresarse en función del volumen de la escoria producida, en lugar de la carga como lo hemos venido considerando hasta ahora. Se ha mencionado una relación de Stalhed (ONU-2), aplicable a sinters autofundentes, en los siguientes términos:

$$K = 475 + 0,185 E \quad (13)$$

Donde: K = Cantidad de coque y E = volumen de escoria Kg/Tn Fe.

2.2.3) Checoslovaquia

En este país se ha desarrollado una fórmula similar a la sueca, pero aplicable a menas de hierro naturales. Se expresa como sigue:

$$\begin{aligned} VM = & 7,94 \text{ Fe} + 3,7 \text{ Mn} + 7,8 \text{ P} + 0,78 \text{ CO}_2 - \\ & - 3,98 (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) + 3,87 (\text{CaO} + \text{MgO}) + 139,6 \end{aligned} \quad (14)$$

Donde: VM = Valor de la mena en coronas checas por ton.
Fe, Mn, etc. = % de dichos elementos.

El signo positivo del fósforo se debe a que el mismo debe acreditarse porque la mena será tratada con el proceso básico Thomas. Si la mena tiene poco fósforo y se tratará con el proceso ácido LD, corresponde hacer una corrección en el VM descontando el costo de eliminación de dicha impureza.

2.2.4) Polonia - Rusia

A veces las características de las menas son tan diferentes y los procesos extractivos tan variados, que resulta imposible calcular el VM de una mena mediante una expresión matemática de aplicación general. En tal caso se puede recurrir a valores índices y composiciones tabuladas, como las que están en uso en Polonia y Rusia. El mayor inconveniente de este procedimiento reside en la variación de los precios con el tiempo de sus ítems, pero durante el período de su vigencia es innegable su practicidad y sencillez.

2.3) NORMAS DE COMERCIALIZACION

Mientras el VM hasta aquí descripto solo tiene una validez restringida al territorio del país que lo determinó, el valor internacional de los minerales de hierro debe responder además al libre juego de la oferta y la demanda. Este criterio también es válido dentro de los países productores de mineral o altamente in-

dustrializados (importadores). EE.UU., Canadá, Australia, y Japón figuran entre los principales países donde la evaluación mineral mas o menos coinciden con las normas internacionales de comercialización. Los países latinoamericanos como Brasil, Venezuela, Perú y Chile, grandes productores de mineral ferrífero pero con una industria siderúrgica endeble, también ajustan sus valores minerales a las pautas del mercado internacional.

2.3.1) Estados Unidos de América

Las normas de comercialización vigentes en los EE. UU. (región de los Grandes Lagos), no difieren esencialmente de las que se utilizan en otras partes o centros de comercio internacional. Según estas, las menas ferríferas reciben una designación primaria acorde con su contenido en fósforo y luego se efectúan ajustes como sigue:

a) Clasificación Mineral:

- Menas Bessemer: con - 0,045% P (100% valor unitario básico -VUB)
- Menas no-Bess.: con 0,045/0,180% P (97½% VUB)
- Menas no-Bess.: con + 0,180% (95% VUB)

b) Ajustes por Contenido de Hierro:

Contenido básico: 51,5% Fe (VUB en \$/%)

Contenido 51,5/50,0% : deducir el VUB correspondiente.

Contenido 50/49% Fe: deducir el 1,5 del VUB correspondiente.

Contenidos - 49% Fe: deducir el 2,0 del VUB correspondiente.

Contenido mínimo de Fe: a convenir.

Contenidos + 51,5% Fe: agregar el VUB correspondiente.

c) Ajustes por Contenido de Fósforo:

- Menas Bessemer: Premios a convenir para valores inferiores a 0,045% P.

- Menas no-Bessemer (cont. intermedio): Sin modificación, o ajuste a convenir (generalmente 97½% VUB), o rechazo.
- Menas no-Bessemer (alto fósforo): Ajustes a convenir (generalmente 95% VUB), o rechazo.

d) Ajustes por Contenido de Sílice:

En general se deducen de los contenidos de hierro, ya que cuando aumenta uno disminuye el otro. No obstante pueden establecerse valores mínimos, bajo los cuales operaría el rechazo, y penalidades y premios por excesos y defectos del valor pactado.

e) Ajustes por Contenido de Manganeso:

- Contenido hasta el 2% Mn: VUB sin modificación.
- Contenidos entre el 2% - 5% Mn: premios por punto, tomando un porcentaje a convenir del VUB del manganeso vigente en el mercado.
- Contenidos sobre el 5% Mn: premios por punto según valor VUB del Manganeso en el mercado, o porcentaje a convenir.

f) Ajustes por Contenido de Cal y Magnesia:

- Valores básicos convenidos: VUB sin modificación.
- Contenidos en exceso de CaO+MgO: Premios a convenir.

g) Ajustes por Humedad:

Se debe establecer un valor básico, y para los excesos se efectuarán descuentos por flete, y por flete y exceso de consumo de combustible.

h) Ajustes por Granulometría:

Se debe establecer una distribución granulométrica básica, y un régimen de premios por exceso de gruesos, y de castigos por exceso de finos (por debajo del tamaño mínimo).

3. CALCULO DEL VALOR COMERCIAL DE LOS MINERALES DE HIERRO DE JUJUY

El valor comercial de los minerales ferríferos de Jujuy, y de Zapla en particular, dependen excesivamente de su ubicación con respecto a la planta siderúrgica, debido a su bajo contenido de hierro; un pequeño exceso de flete o manipuleo, los torna inmediatamente antieconómicos. Por tal razón, y como se probará mas adelante, el destinatario exclusivo de estas menas no puede ser otro que el Establecimiento Altos Hornos Zapla de la D.G.F.M.

Una breve descripción de los depósitos y sus menas, su tratabilidad premetalúrgica y de la operación de los altos hornos de Zapla, nos permitirán obtener los datos elementales para elaborar una fórmula de evaluación mineral del tipo de la Ecuación 3.

3.1) LAS MENAS DE HIERRO

Existen en la región tres grandes cuerpos de sedimentos ferríferos que, según Pages, representan las mayores reservas de hierro del país. Dos de estos cuerpos (Zapla y Santa Bárbara) se encuentran en Jujuy, mientras que el tercero (Unchimé) está dentro de los límites de Salta. El yacimiento de Zapla, con un millón de toneladas positivas y unos 13 millones de toneladas probable-positibles, es el que aporta menas de leyes entre 39,7% Fe y 49,2% Fe, netamente superiores a las de los otros dos. En él se encuentran las minas "9 DE OCTUBRE" y "PUERTO VIEJO" que desde 1943 están abasteciendo a los Altos Hornos Zapla.

El yacimiento de Santa Bárbara arroja una leyes que oscilan entre los 21,6 % Fe y 36,4% Fe, con unas reservas probables

de unas 445 millones de toneladas. Las reservas de Unchimé, por su parte, ascienden a unos 13,775 millones de toneladas positivas con una ley entre 32,2% Fe y 40,9% Fe, mas unos 255 millones de toneladas probables-posibles.

Según Giordana (1 y 2), todos los cuerpos ferríferos parecen ser del mismo origen sedimentario, de edad Silúrica. Las lutitas ferríferas (manto portador) están ubicadas sobre las tilitas de Zapla, presentándose mas o menos arenosas y cementadas por soluciones sílico-ferríferas hidratadas. Todo el complejo sedimentario se lo conoce como Formación de Zapla.

Los minerales ferríferos predominantes son los silicatos de hierro (Thuringita-Chamosita) que, por una acción metamórfica posterior, se han transformado parcialmente en Hematita. Contiene además Cuarzo, Mica, Cloritas y otros minerales ferromagnesianos de menor importancia. Las proporciones de los minerales mencionados, como el tamaño de grano varían considerablemente, dando origen a una amplia gama de tipos de menas de diversa ley en Fe y grado de tratabilidad.

3.1.1) Composiciones químicas medias del mineral de Zapla.

En la Tabla Nº 1 se muestran las composiciones químicas de las menas brutas de las minas 9 DE OCTUBRE y PUESTO VIEJO, y el mineral luego del tratamiento premetalúrgico (trituración/clasificación y selección manual) listo para la carga al alto horno. Estos valores fueron suministrados por AHZ-DGFM en Zapla, y responden mas bien a materiales tipo, que a análisis promedios obtenidos de muestreos sistemáticos sobre la producción a lo largo de un período determinado.

3.1.2) Tratamiento Premetalúrgico.

El unico tratamiento premetalúrgico aplicado a las menas

explotadas por AHZ-DGFM, es la trituración/clasificación, selección manual, sinterización de finos y mezclado. Recientemente se contrataron los servicios de Atkins, una consultora americana, para determinar la factibilidad de una planta concentradora de medios densos, como método básico. No nos fué posible tener acceso a sus conclusiones, pero se nos informó que las mismas estaban bajo estudio en el momento de la consulta.

a) Trituración/Clasificación/Selección Manual: Cada mina de AHZ-DGFM posee su planta de tratamiento. La de la mina 9 DE OCTUBRE, de unas 500 tp.turno, tiene una trituradora primaria a -200mm, seguido de una parrilla (70mm) y dos cribas (54 y 30mm). La selección manual se efectúa sobre cintas con los tamaños +30mm. Los tamaños +40mm, sobre criba (40mm), del producto seleccionado, es pasado por una trituradora secundaria cónica a -40mm. En estas condiciones es transportada a silos. Los finos (-30mm) son depositados en el desmante (41,5% Fe), y el estéril en la escombrera. La ley de cabeza promedio, según se nos informó, es de 41,53% Fe, y el producto de 46,6% Fe, con una recuperación en peso del orden de los 80%.

El esquema de la planta de la mina PUESTO VIEJO es similar a la descrita, excepto que la trituración se hace -70mm, la selección manual se hace sobre el tamaño +40mm, y el producto se pasa por una trituradora secundaria de cono a -50mm. Los finos (-40mm) van al desmante. La capacidad de la instalación es de 700 Tn/turno. La ley de cabeza es del 35% Fe, el producto final de 40% Fe con una recuperación en peso del 55%.

b) Sinterización: Los finos ($-\frac{1}{2}$ "), que se acumulan a razón de 4.000 tpm, y la cascarilla del tren de laminación son sinterizados y cargados al alto horno junto con la mena en una proporción del 20%. La operación se hace en una batería de varios calderos de 2mx2m en forma discontinua, y dura unos 25-30 min. con una depre-

sión de aire de 800 a 900 mm. El lecho, de 30 cm. de espesor, está constituido por una mezcla de finos con 8% de carbón vegetal. Los finos alimentados provienen del subtamafío producido en la trituración secundaria de las minas 9 DE OCTUBRE y PUESTO VIEJO por partes iguales, cuyas leyes son de 48% Fe y 39,0% Fe respectivamente, y un 10% de cascarilla (72% Fe). La ley resultante del sinter es del 49%Fe.

c) Tratabilidad: Ensayos de "Sink-&-Float", con líquidos pesados primero, y con medios densos después, han probado (Giordana 1 y 2) la extrema dificultad de concentrar los minerales de Zapla por encima del 50% Fe con recuperaciones aceptables. Por ejemplo, el material -9mm, usado generalmente como cabeza de sinter (40% Fe), apenas da un "sink" del 47% Fe, con una recuperación en peso del 67%, en un medio de 3,47 de densidad. Tamaños inferiores a las 65M pueden concentrarse, sin embargo, hasta el 52,2% Fe o superior, pero con recuperaciones de solo el 50-55% en peso (75% metálico).

Ensayos practicados sobre muestras de Santa Bárbara y Unchimé (Giordana 1), arrojaron resultados mas desalentadores aún. Los mejores resultados no superaron los 43,3% Fe. con recuperaciones del 60%.

3.2) OPERACION DE LOS ALTOS HORNOS ZAPLA

El Establecimiento de Altos Hornos Zapla (DGFM) posee 4 hornos. Los números 1 y 2 son de 50 tpd de capacidad, mientras que los números 3 y 4 son de 125 tpd, y se proyecta instalar un quinto horno de 350 tpd, dentro poco tiempo. Los actuales requerimientos de mineral de hierro son del órden de las 20.000 ton/mes con una producción de arrabio de 9.000 a 10.000 Tn/mes.

3.2.1) La Carga:

En la Tabla Nº 2 se consigna la composición de una carga típica, para una tonelada de arrabio.

Los datos arriba consignados fueron suministrados por AHZ-DGFM, y corresponden mas a una carga tipo (Marcha Demag) que al análisis promedio de un muestreo sistemático real. La ley del mineral de hierro cargado es de 45% Fe, mediante la adecuada mezcla de menas de las dos minas de Zapla. La recuperación metalúrgica según cálculo con dichos datos es del 98%, que estimamos excesivamente alta. Este valor fué confirmado por el Sr. Jefe de Altos Hornos.

3.2.2) Los Insumos

En la Tabla Nº 2 tambien se consignan los consumos de fundentes (caliza y dolomita), mineral de manganeso y carbón. En cuanto a este último debemos consignar que alrededor del 20% es coque metalúrgico y el resto carbón vegetal. El coque se utiliza unicamente cuando la producción de finos del carbón vegetal amenaza "ahogar" el alto horno. En el sinter solo se usa carbón vegetal.

3.2.3) Costos de los Materiales

Los siguientes costos fueron obtenidos de consultas con proveedores y con las autoridades del EAHZ-DGFM. Los datos se refieren al costo franco en planta siderúrgica (Palpalá - Jujuy), por ton.

a) Materias Primas:

- Mineral de Hierro propio (45% Fe)
costo primo A\$ 15,81 (9-OCT)
A\$ 15,36 (P.VJO)
- Mineral Chileno (62% Fe) A\$ 47,50
- Mineral Unchimé (48% Fe) A\$ 39,39

b) Fundentes:

- Caliza Volcan A\$ 15,08
- Dolomita (jujeña) A\$ 19,18

c) Carbón Vegetal - Coque:

- Carbón vegetal (72,6% C fijo).... A\$ 63,56 (propio)
- Carbón vegetal de terceros A\$ 85,00
- Coque metalúrgico A\$328,00

d) Varios:

- Mineral de Manganeso (35% Mn).... A\$ 86,59

3.2.4) Costos Operativos

Los datos siguientes fueron suministrados por AHZ-DGFM, y se refieren unicamente a los costos de incidencia directa al sector de los altos hornos, y a la parte proporcional de los indirectos de servicios y supervisión. No se incluyen las cargas generales, amortizaciones y costo de capital.

- Costo operativo directo: A\$ 14,37/Ton. arrabio.
- Costo operativo indirecto:A\$ 2,48/Ton. arrabio.

REFERENCIAS

GIORDANA, A. (1) "Estudio de concentración de los minerales de Hierro de la cuenca ferrífera del NO Argentino" MINERIA, Nos. 79/81 (1969).

(2) Varios Informes Progresivos sobre el tratamiento de muestras de minerales de Zapla. Inéditos. Inst. de Geol. y Min. UNIV. NAC. DE TCMA. (1963/64).

LECKIE & WARING: Journal of the Institute of Fuel, Oct. 1961 p.414.

O.N.U. (1) "Estudio de los Recursos en Mineral de Hierro del Mundo; su ubicación geográfica, su evaluación y su aprovechamiento". Nueva York 1955.

(2) "Economic Aspects of Iron Ore Preparation" Ginebra 1966.

TAGGART, A.: "Handbook of Mineral Dressing" J. Wiley 1960.

U.S.S. "The making, shaping and treating steel" 7th. Ed. Pittsburgh, 1957.



TABLA N° 1

	Mina 9 DE OCTUBRE (Z)		Mina PUESTO VIEJO (Z)		
	Mena Pobre	Mena Rica	Mena Pobre	Promedio	Mena Rica
Fe %	40,70	52,40	34,1	36,4	47,1
P/(P ₂ O ₅) %	0,26	0,39	(1,5)	0,69	0,61
S/(SO ₃) %	0,038	0,07	0,16	(0,15)	0,14
SiO ₂ %	25,76	9,74	26,70	26,8	15,40
Al ₂ O ₃ %	6,97	6,18	7,00	10,0	4,5
CaO %	2,93	3,50	2,10	2,7	1,7
MgO %	1,39	0,99	1,10	1,1	1,3
MnO/(MnO ₂) %	0,24	0,16	n.d.	(0,17)	n.d.
BaO %	0,78	0,78	n.d.	0,43	n.d.
TiO ₂ %	n.d.	n.d.	n.d.	0,50	n.d.
Insoluble %	n.d.	n.d.	28,8	n.d.	18,4
P.R. %	2,89	2,55	n.d.	5,2	n.d.

ANALISIS TIPO DE LAS MENAS BRUTAS DEL YACIMIENTO DE ZAPPA (Jujuy). Datos suministrados por AHZ-DGFM.-

TABLA N° 2

MARCHA TIPO "DEMAG" PARA LA CARGA DE LOS
ALTOS HORNOS ZAPLA - EAHZ-D.G.F.Milit.

(Datos suministrados por AHZ y correspondientes al período del 22-X-1963/18-XI-63)

Consumo específico de carbón:.....	1,37
Basicidad:	0,85
Carbón Vegetal: Agua:	8,3%
Materia Vol.:	14,0%
Carbono fijo:	72,6%
Ley media del mineral de hierro:	45,0% Fe
Mineral de hierro:	1.744 Kg (80%)
Sinter:	436 Kg (20%)
Caliza:	370 Kg (70%)
Dolomita:	170 Kg (30%)
Mineral de manganeso (35% Mn):	70 Kg
Recuperado (Fe):	50 Kg

Operación:

Temperatura del arrabio: 1.290°C
 Recuperación de polvos: 70-170 Kg/Tn Fe
 Aire insuflado: 4.000 NM³/Tn Fe
 Ciclo de carga: 3MG x 1S x 4MG x 1S x 1M.

NOTA: Consumos referidos por tonelada de arrabio.

TABLA N° 3 - ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE LA CARGA DE LOS ALTOS
 HORNOS DE ZAPLA DURANTE EL MES DE MARZO DE 1969.-

	MEZCLA MEDIANO	MEZCLA GRUESO	SINTER	CALIZA SILO	CALIZA A-9	MANGAN. SILO	MANGAN. A-9	ESCORIA THOMAS	ESCORIA TH. A-9	DOLOMITA SILO
SiO ₂	22,9	23,6	20,8	-	-	37,0	38,1	-	-	-
Fe ₂ O ₃	60,9	55,0	64,5	0,55	0,47	4,1	6,5	-	-	0,71
Fe / (FeO)	42,5	38,5	45,2	-	-	-	-	10,1(13)	10,6(136)	-
Fe ⁺⁺	4,3	4,0	18,4	-	-	-	-	-	-	-
Fe ⁺⁺⁺	-	-	25,8	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	8,3	6,4	7,0	0,1	0,1	9,0	9,0	1,03	1,51	0,8
CaO	1,5	3,4	4,6	52,8	52,5	6,6	7,2	52,6	50,15	31,6
MgO	0,8	0,7	1,5	1,0	1,0	0,48	0,46	3,15	3,44	18,5
MnO	0,2	0,32	0,76	0,18	0,18	3,2	5,0	1,5	2,68	-
Mn	-	-	-	-	-	21,1	17,8	-	-	-
SO ₃	0,15	0,22	0,14	0,07	0,04	0,34	0,38	-	-	0,034
P ₂ O ₅	1,6	1,7	1,7	0,09	0,07	0,25	0,25	-	-	-
BaO	0,40	0,13	0,20	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	0,25	0,47	0,40	-	-	-	-	-	-	-
Pérdida	3,3	3,6	-	42,8	43,1	-	-	-	-	44,9
R ₂ O ₃	71,3	68,1	74,0	2,5	2,4	-	-	7,06	6,78	-
Insoluble	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

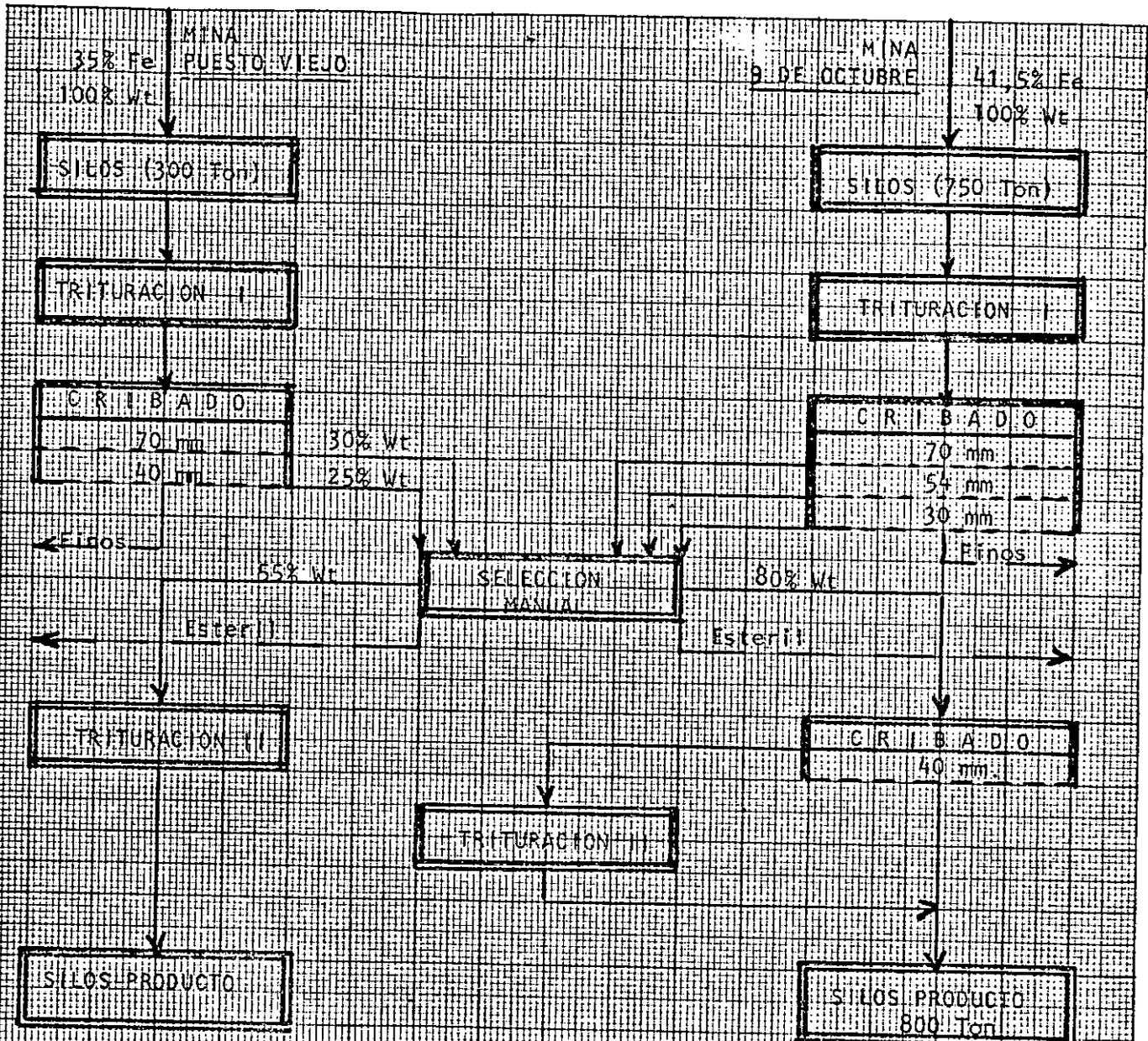
NOTA: Datos suministrados por el EAHZ-D.G. de Fabr. Militares.

Avda. R. Saenz Peña 710, 3° "D"
 AV. BELGRANO 427
 CABLES "BEFIA"
 34 - 6280
 TEL.: 30 - 8474

SUDAMCONSULT & ASOCIADOS S. R. L.

CAPITAL \$ 500.000.00.-

BUENOS AIRES
 CASILLA DE CORREO N° 818
 CORREO CENTRAL



CAPACIDAD: 700 t/turno
 LEY MEDIA PROT.: 40% Fe

CAPACIDAD: 650 t/turno
 LEY MEDIA PROT.: 46,6% Fe

ESQUEMA OPERATIVO DE LA PREPARACION MECANICA
 DE LOS MINERALES DE LAS MINAS 9 DE OCTUBRE Y
 PUESTO VIEJO. E.I.A.H. Z. D. G. de Fabr. M.I.I.

NOTA: De un esquema suministrado por E.A.H.Z.