

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

METODO CIENTIFICO EN METALURGIA

209

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

ALEJANDRO GONZALEZ ORIGEL



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Tesis  
ADQ. 1926  
FECHA 1926  
PROC. M. L. 2.

211



QUIMICA

Jurado asignado originalmente según el tema:

PRESIDENTE, Prof. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ

V O C A L , " KURT H. NADLER GUNDEISHEIMER

SECRETARIO, " ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA

1er.SUPLENTE, " MARIA EUGENIA NOGUEZ AMAYA

2do.SUPLENTE, " HUMBERTO MALAGON ROMERO

Sitio donde se desarrolló el tema: FACULTAD DE QUIMICA DE  
LA U.N.A.M.

Nombre completo y firma del sustentante:

ALEJANDRO GONZALEZ RIGEL

*Alejandro G.O.*

Nombre completo y firma del asesor del tema:

M. en C. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA

*[Firma]*

En la edad histórica que nos ha tocado participar, se contempla el perfil integral de la dimensión: Técnica-Social en el dominio filosófico de la ciencia, con el elemento esencial de la intelectualidad, que es el raciocinio.

El Método Científico constituye, de hecho, la tarea primordial en la Metodología de la Investigación en el Área del Conocimiento de la Ciencia.

Los propósitos del esfuerzo realizado en el presente estudio, son orientados hacia una Metodología de la Técnica, sin olvidar su fuente: El Valor Humano en la Ciencia.

## C O N T E N I D O

| INDICE.  | PAGINA |
|--|--------|
| SINTESIS TEMATICA .  | 1      |
| I.- PROLOGO.   | 4      |
| II.- NATURALEZA DEL METODO CIENTIFICO.   | 5      |
| II.1.- Introducción.   | 5      |
| II.2.- Reglas Metodológicas.   | 9      |
| II.3.- Etapas del Método Científico.   | 11     |
| II.4.- Instrumentación Semántica en la<br>Metodología de la Investigación Científica.                      | 22     |
| II.5.- Límites del Método Científico.  | 23     |
| III.- EVOLUCION DE LOS PROCESOS DE REFINACION EN LA<br>OBTENCION DEL ACERO A LA LUZ DEL METODO CIENTIFICO. | 24     |
| III.1.- Observación Metódico - Histórica.  | 25     |
| III.2.- Hipótesis de la Evolución de los Procesos<br>de Refinación del Acero.                              | 41     |
| III.3.- Experimentación de los Procesos.   | 42     |
| III.4.- Ley de la Aceración.   | 71     |
| III.5.- Teoría de la Refinación.   | 79     |
| III.6.- Modelo de Prioridad Operacional en la<br>Obtención del Acero.                                      | 87     |

|   |     |
|---|-----|
| IV.- INVESTIGACION METODICA EN METALURGIA.  | 88  |
| IV.1.- Corolario del estudio de la Refinación<br>del Acero.                             | 89  |
| IV.2.- Teoría del Conocimiento y Metalurgia.  | 91  |
| IV.3.- Planeación de un Modelo Experimental<br>en Metalurgia.                           | 93  |
| IV.4.- Determinismo e Incertidumbre en la<br>Investigación Científica de la Metalurgia. | 95  |
| EPILOGO.  | 99  |
| V.1.- Conclusiones generales.   | 99  |
| V.2.- Conclusión esencial.- Perspectivas sobre<br>la Enseñanza Técnica.                 | 103 |
| V.3.- Conclusiones particulares.  | 104 |
| REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.   | 107 |
| APENDICE.- Un Ensayo Cosmológico sobre la Metalurgia.                                   | 112 |
| RECONOCIMIENTOS.  |     |

## S I N T E S I S      T E M A T I C A

Los científicos, aunque a veces no lo sepan, invariablemente trabajan sobre un fondo filosófico, el cual da razón; al fin y al cabo, de la actitud que asumen en su investigación.

León Brillouin.

Comenzamos la elaboración de este trabajo con el resumen integral del mismo, con el objeto de ubicar la temática de cada parte constituyente en su aspecto esencial y descriptivo.

Así, en el Prólogo definimos los objetivos de este estudio que son planteamientos en el campo Pedagógico y en la ruta de la Metodología Científica en su correspondiente aplicación en el Area de la Metalurgia.

En el estudio de la Naturaleza del Método Científico, analizamos las etapas fundamentales de la Metodología de la Investigación Científica; que son las siguientes:

- a ). Observación Metódica.
- b ). Hipótesis.
- c ). Experimentación.
- d ). Ley.
- e ). Teoría.
- f ). Modelo.

Asimismo, se incluye un análisis lógico de interpretación cien



tífica, atendiendo al significado semántico como recurso del hombre de ciencia. En el capítulo concerniente a la Evolución de los Procesos de Refinación del Acero a la luz del Método Científico, se analizan los pasos del Método Científico en este problema: En cuanto a la Observación, la estudiamos a través de una Observación Metódico-Histórica; porque a través del desarrollo de los procesos en el tiempo, se aprecia mejor la Observación Científica.

La Hipótesis descansa en la aplicación operacional progresiva que la verificamos y probamos por medio del Método Experimental o Experimentación. Continuamos con la Ley, es decir, la relación constante de los fenómenos, la hacemos descansar en la Físico-química, y en especial en las reacciones de los elementos constituyentes del acero; seguimos con la Teoría, que consiste en la explicación o explicaciones de la Ley. Que en nuestro caso va a consistir en las posibles interpretaciones de los mecanismos de reacción, explicativas a las reacciones o Ley del proceso de aceración.

Culminamos con la presentación del Modelo, que es la cumbre de toda investigación científica; en nuestro estudio, la hacemos consistir en un Modelo sobre la prioridad operacional de la aceración.

En la sección del Método Científico en Metalurgia, recogemos el fruto de los capítulos anteriores; distribuyéndolo en cuatro aspectos, a saber:

- 1.- Corolario del Estudio de la Refinación del Acero. Donde presentamos a manera de conclusiones: las ventajas y desventajas del mismo.

- 2.- Teoría del Conocimiento y Metalurgia. Se presenta en forma breve una epistemología de la Metalurgia, para tenerla como elemento integrante del siguiente punto.

- 3.- Que consiste en la Planeación de un Modelo Experimental en Metalurgia, el cual, puede considerarse como un corolario del Método Científico.

- 4.- Finalmente, la información a manera de índice de la

casuística metalúrgica. Del Determinismo e Incertidumbre en su Investigación Científica y Técnica.

En el Epílogo, expresamos las conclusiones generales y - particulares de este trabajo; en las primeras contemplamos las recomendaciones a los procesos de refinación en general, dedicándolas al ámbito nacional.

Mientras que, en las conclusiones particulares, concentramos nuestra atención a algunos aspectos de la problemática académica de la carrera de Ingeniero Químico Metalúrgico, de una manera singular y precisa.

Además, se anexa una elaboración intelectual y puramente cultural de índole cosmológica con el propósito de ampliar, en lo que sea posible el criterio de estudiantes e investigadores del área metalurgista. Creyendo, pueda servir como punto de - partida en la asignatura de Filosofía de la Ciencia, recientemente incluida en nuestro plan de estudios de Licenciatura.

# I

## P R O L O G O

Que tengamos:  
Agudeza para entender,  
capacidad para retener,  
**METODO** y facultad para  
aprender,  
sutileza para interpretar,  
gracia y abundancia para  
hablar.  
Acierto al empezar,  
dirección al progresar y  
perfección al acabar.

S. Tomás de Aquino.

Dentro de los propósitos que nutren a la Investigación del Método Científico en su correspondiente aplicación en Metalurgia, hallamos que la Metodología es una herramienta útil en el desarrollo de la investigación de los procesos metalúrgicos.

La experiencia teórica de este trabajo, persigue los dos siguientes objetivos, a saber:

- I ). Orientación Educativa ( directriz pedagógica de la acción metalurgista ).
- II ). Presentación Metodológica de Bases Sistemático-Teóricas de determinaciones experimentales en el Area de la Metalurgia.

La herramienta para la obtención de los objetivos anteriores, estriba en la ejecución del Método Científico. Derivando nuestra atención en la evolución de los procesos de refinación del acero, porque creemos que en el marco genérico de la Metalurgia, este problema evolutivo contribuye como ilustración esencial en el camino de nuestra Investigación Experimental en la praxis cotidiana académica como en su tránsito a la realidad.

I I  
N A T U R A L E Z A  
D E L  
M E T O D O C I E N T I F I C O

La Metodología es una disciplina técnica, que puede ser también denominada el órgano de las Ciencias o la doctrina de las formas sistemáticas del pensamiento.

Windelband.

II.1.- INTRODUCCION.

El trabajo desarrollado por el científico recibe el nombre de Investigación Científica y el conjunto de procedimientos - ejecutados recibe el nombre de Método Científico.

El Método es el camino que nos lleva a la Ciencia. Así como no podríamos llegar al final de un camino si no es andando el camino, no podría lograrse la ciencia sin el método.

Se considera al método como el instrumento gracias al cual se logra la ciencia por:

I.- Imponer un orden en las actividades que realiza el científico y en los conocimientos obtenidos.

II.- Orientar la investigación hacia un fin, paso a paso en un proceso. (Yurén C.)

III.- Por estar orientado a la ciencia. El método debe procurar los requerimientos, características y finalidades de la ciencia.

El Método Científico es la estrategia de la investigación científica: afecta a todo ciclo completo de investigación y es independiente del tema en estudio. Pero, por otro lado, la ejecución concreta de cada una de esas operaciones estratégicas dependerá del tema en estudio y del estado de nuestro conocimiento respecto de dicho tema. (1)

El método debe ser racional y correcto la parte racional pertenece a las dimensiones de la lógica y la parte correctiva entra en la aplicación de las reglas metodológicas. Comenzaremos por estudiar la fase racional:

La interpretación lógica de toda investigación científica consiste, en último análisis, en la aplicación de las leyes del razonamiento, que son del dominio de la lógica. El conocimiento científico excepcionalmente es dado por actos de aprehensión inmediata. Casi siempre el resultado de procesos más o menos complejos entre los que destacan los razonamientos deductivos, los analógicos y los inductivos. Los primeros reciben su validez de los grandes principios lógicos y en ellos se va de lo general a lo particular mediante leyes lógicas perfectamente establecidas desde la antigüedad. Entre las variaciones del proceso demostrativo científico, se hace la distinción de la demostración directa, indirecta, progresiva y regresiva.(2)

Es directa cuando la verdad de lo que se demuestra en una serie lógica ininterrumpida, se deduce de la verdad de sus fundamentos. Es indirecta cuando la verdad de la tesis se deduce de la falsedad suficientemente fundada de su opuesto contradictorio, método tradicionalmente conocido como "deductio ad absurdum". La demostración es progresiva cuando, como en la prueba directa, de la verdad de los principios se deduce la verdad de la conclusión; y es regresiva cuando de la falsedad de la consecuencia se deduce la falsedad de los principios. Esta última forma de demostración es muy usada en la refutación científica.

Como todo razonamiento deductivo parte de lo universal, su comienzo nunca puede ser un juicio inmediato de experiencia, - pues no hay experiencia inmediata sino de lo singular. Si el

comienzo del razonamiento deductivo es una afirmación sobre los hechos, tiene que ser un juicio universal sobre los hechos, y por lo tanto el resultado de una inducción. En el razonamiento analógico o por analogía, de que un objeto A' coincide con otro objeto A" en ciertas notas: a, b, c, que son comunes a ambos, se concluye que A" poseerá también la nota P que sabemos posee A'. Es un razonamiento de lo particular a lo particular análogo, o de lo singular a lo singular análogo; el razonamiento analógico reviste la apariencia de un silogismo, pero en realidad no posee su fuerza y difiere fundamentalmente de él. El silogismo debe su rigor a que se atiene a las leyes formales evidentes que rigen los pensamientos; en cambio en el razonamiento analógico se admite que a ciertas correspondencias entre dos objetos deben seguir otras; la cual, si bien goza de cierta verosimilitud, carece en absoluto de seguridad. Por este motivo el razonamiento analógico nunca termina en una resuelta afirmación. En el uso científico, el razonamiento por analogía tiene dos papeles: o se aplica por sí cuando otro razonamiento no es posible, o se toman sus conclusiones como hipótesis, como datos verosímiles que hay que comprobar. (3)

La analogía es una transducción.

El producto del razonamiento por excelencia para establecer las leyes naturales es la inducción. La inducción es el instrumento de un Método Científico que pretende descubrir algo nuevo, algo mas allá de un resumen de observaciones anteriores; la inferencia inductiva es el instrumento del conocimiento predictivo. (4)

No nos detendremos a analizar su fundamento, que según la opinión generalmente admitida consiste en "La regularidad del curso de la Naturaleza", regularidad que para unos es mera hipótesis (por muy elevado que sea su grado de probabilidad) mientras que para otros es una verdad segura. En general la inducción consiste en la averiguación mediante el análisis de los hechos, de las leyes que los rigen. Como estas leyes no se contentan con expresar relaciones entre los hechos observados sino que aspiran a una significación general, a valer para todos

los hechos de una misma clase, hay en la inducción una comprobación y una extensión: comprobación de la relación en los casos examinados y extensión a todos los casos del mismo orden.

Clásicamente, la inducción se basa en varios métodos cuyo propósito consiste en aislar, entre las circunstancias que rodean a un fenómeno las que tienen con él una relación constante: el método de concordancia, el método de diferencia y el de variaciones concomitantes.

En el método de concordancia, dado el fenómeno que se quiere investigar, se reúne el mayor número posible de casos en que aparezca, procurando que estos casos sean de índole mas diversa. Si se busca por ejemplo el antecedente de un fenómeno se reúnen muchos casos en que ocurra ese fenómeno, muy diferentes en si pero coincidentes en presentar el fenómeno en cuestión; el antecedente debe estar también presente en todos los casos, y si no lo está no sería el antecedente, pues el fenómeno no se daría en este caso sin él. Este método supone un análisis eliminatorio, se eliminan las circunstancias que aparecen en las cosas examinadas, sin darse en todas ellas. Ninguna de ellas puede ser el antecedente (o consecuente) del fenómeno que estudiamos, puesto que falta en algunos casos en que el fenómeno aparece. A medida que es mayor el número de casos examinados, la eliminación de circunstancias accidentales es mayor y crece por tanto la probabilidad de dar con el antecedente o consecuente verdadero. Si el número de casos analizados es pequeño, el término buscado puede ir por casualidad acompañado en todos los casos de circunstancias accidentales, que erróneamente se pueden considerar ligadas constantemente al fenómeno, y formando parte del término que se busca.

El método de diferencia, aquí se reúnen los casos más parecidos posibles, pero en los cuales en unos aparezca el fenómeno estudiado y en otros falte. En los primeros se dará también lo que esté ligado constantemente al fenómeno mientras que estará ausente en el otro caso.

El método de variaciones concomitantes, en éste se introduce la magnitud en la relación, se comparan bastantes casos,

en los cuales el hecho en indagación se presenta en grados distintos y se busca la circunstancia que varía correlativamente con el hecho. (5)

Establecidos a través de estos métodos, la inducción plantea sus conclusiones en forma de juicios universales, aunque enunciados en sentido asertórico; los juicios universales de la inducción son todos problemáticos, aunque de una probabilidad que llega a ser a veces elevadísima. Se les llama, por ello "hipótesis probabilísticas" y en relación con ellos (6) es necesario determinar que grado de diferencia existente entre las frecuencias observadas en el experimento y la probabilidad enunciada por la hipótesis debe servir de base para rechazar a esta última. Igualmente es preciso determinar que tan estrecho debe ser el acuerdo entre las frecuencias observadas y la probabilidad hipotética, para que la hipótesis sea aceptada. Los requisitos pueden hacerse mas o menos estrictos, de acuerdo con los objetivos de la investigación, y existen siempre dos tipos de errores en los que es posible caer: el de rechazar la hipótesis, aunque sea cierta, y el de aceptarla, siendo falsa. (7)

## II.2.- REGLAS METODOLOGICAS.

Las principales reglas metodológicas son las siguientes:

1. Regularidad.
2. Continuidad.
3. Repetición.
4. Causalidad.
5. Conexión.
6. Pertinencia.
7. Escala.
8. Simplicidad.
9. Parsimonia.
10. Armonía. (8)

Por regularidad se entiende la consideración de que el comportamiento de los procesos es regido por leyes. En esta condición se apoya la posibilidad de extender los resultados observados



en un pequeño número de casos experimentados, haciendo que abarquen en su generalización a todos los procesos de la misma clase. En la continuidad se expresa la imposibilidad de efectuar una división radical dentro del continuo uniforme que es el universo. Además, cada una de las partes que el conocimiento descubre es también un continuo, y todos esos continuos se hallan a su vez, en mutua relación de continuidad. Con base en la continuidad se hace posible la introducción de hipótesis nuevas y la transformación de las ya establecidas, cuando así lo exige la explicación de los resultados experimentales.

La repetición establece la diferencia radical entre la experiencia científica y cualquier otro tipo de experiencia. Mediante la repetición de experimentos se comprueba la objetividad de sus resultados y se asegura la posibilidad de que el conocimiento siga avanzando sobre un apoyo firme, que ya no se puede deteriorar. Para garantizar la repetibilidad de un experimento es imprescindible que todo lo que se ejecuta quede mostrado a los demás de manera precisa y completa.

Por causalidad el investigador entiende que el conocimiento de ciertos acontecimientos observados en el momento presente o en los anteriores, aunado al conocimiento de las leyes que los rigen, le permite prever de manera rigurosa la ocurrencia de otro acontecimiento en un tiempo determinado, se pone al descubierto el orden de los procesos existentes.

La conexión significa que dos procesos distintos siempre difieren en más de una propiedad y por tanto, las desemejanzas en su comportamiento no ocurren aisladamente, sino que se encuentran asociadas con otras diferencias; la conexión representa la necesidad de profundizar constantemente las explicaciones establecidas.

La pertinencia se refiere a la selección que se hace de los factores que intervienen en la producción y el desarrollo de un proceso, para que éste sea eficiente.

La escala es un proceso que se refiere tanto al orden de magnitud como al nivel de la existencia del sistema. En cada experimento, la escala en que se trabaja queda determinada por los instrumentos utilizados.

En rigor, trabajamos siempre en el experimento dentro de la escala definida por el alcance de nuestras manos y de nuestros sentidos.

Por simplicidad se entiende el adoptar la explicación más simple entre todas las posibles que representen efectivamente a los resultados experimentales obtenidos y en tanto que dicha explicación adoptada siga representando a los resultados experimentales posteriores (por eso se eligen funciones matemáticas simples). La simplicidad de la ciencia estriba únicamente en la simplificación racional de lo complejo.

La parsimonia se refiere a la condición de que los postulados iniciales sean en el número más reducido posible, y lo que tiene mayor importancia aún, que no se introduzca una hipótesis para cada resultado experimental, ni tampoco se utilicen hipótesis exclusivas para un sólo resultado.

La armonía del universo y la búsqueda de su representación congruente en las teorías científicas. La armonía y la belleza de una teoría son condiciones necesarias, aunque insuficientes para que resulte verdadera objetivamente. Las investigaciones científicas están orientadas por la belleza de su contenido y por la armonía de su forma. En la matemática se reconoce explícitamente a la belleza como un elemento de la verdad.

En otras ciencias no se hace semejante reconocimiento explícito, pero siempre se prefiere la hipótesis mas bella y armoniosa. Un caso particular de la armonía lo constituye la simetría la cual viene adquiriendo cada vez mayor importancia en la actualidad e incluso, sirve como principio heurístico (de los problemas) impulsándonos a indagar soluciones que, ya sea la asimetría o la simetría hacen previsibles con una gran probabilidad. En fin, nunca olvidemos que la actividad científica no sólo se orienta por bellas y buenas razones, sino que igualmente requiere de buenos y armoniosos instrumentos.

### II.3.- ETAPAS DEL METODO CIENTIFICO.

El Método Científico establecido y practicado por Galileo consiste en comenzar por la experimentación de hechos particu-

lares, para luego formular inductivamente una hipótesis general que posiblemente los explique después, permita anticipar racionalmente ciertas consecuencias que, finalmente, puedan ser sometidas a comprobación en nuevos experimentos. En este sentido es que debemos a Galileo la formación del espíritu de la ciencia moderna, basado en la armonía entre el experimento y la teoría, aunque siempre reconociendo la primacía del experimento. (9)

Como ya es sabido, las etapas fundamentales del Método Científico son las siguientes: Observación metódica, la Hipótesis, la Experimentación o Método Experimental, la Ley, la Teoría y el Modelo.

La Observación Metódica consiste en la captación del dato, en la recepción consciente de los elementos del saber; el hombre de ciencia se pone ante la realidad que suscita su interés y comprueba su modo de ser y su comportamiento, examina sus aspectos, los registra, reitera su examen. El resultado tiene alcance meramente individual y descriptivo: la observación se refiere a objetos singulares y termina con la enunciación de lo percibido en ellos.

Tal enunciación no puede consistir sino en juicios de experiencia, singulares y, de ordinario, asertóricos. Cuando la observación está dificultada por impedimentos que nos hagan dudar del resultado, el juicio será problemático. La primera garantía de la fidelidad de una observación es la ausencia de prejuicios; si existe alguno en la mente del observador, bajo la forma de una hipótesis, en el momento de observar hay que restarle cualquier influjo sobre la observación, evitando el conato de que lo juzgado cubra o reemplace lo verdaderamente observado.

El segundo requisito de la observación es aprehender de la manera mas exacta y completa lo que la observación nos muestra. Esta condición, que Kelvin hizo mas estricta aún, al exigir la medición como prerrequisito de la ciencia, ha obligado a los científicos a intentar la medición dimensional de sus observaciones. (10)

La formulación de la Hipótesis es una de las etapas esenciales en el proceso de la investigación científica, de hecho, constituye la base del método experimental, y tanto es así que la mayor parte de las investigaciones se llevan a cabo con el deliberado propósito de comprobar el grado de veracidad de una hipótesis. En esto consiste precisamente la importancia de la hipótesis, cuya función principal es servir como punto de partida a nuevos proyectos de experimentación, encaminados a resolver los problemas presentes, en consecuencia, la hipótesis es el móvil primordial en la pesquisa científica, y por ello desempeña papel relevante en la adquisición de nuevos conocimientos. (11)

Las hipótesis generalmente proceden de la observación, y pueden originarse por diversos procesos mentales, tales como: imaginación, intuición y razonamiento; que dependen de la aptitud intelectual del investigador y del conocimiento que tenga sobre las cuestiones que se analizan. (12)

Conviene señalar algunas particularidades propias de la hipótesis. La primera es que ninguna hipótesis puede ser probada como absolutamente cierta, y que ello no obstante, puede ser aceptada en la práctica si los resultados de los experimentos le dan suficiente apoyo. Esto se debe a que todo el proceso de confirmación de la hipótesis es de naturaleza inductiva. Como es sabido, en la inducción, siempre es posible que las premisas sean verdaderas y la conclusión falsa, y viceversa; cuando los resultados de un experimento realizado para probar una hipótesis, están de acuerdo con la misma, lo mas que puede afirmarse es que se ha obtenido evidencia confirmatoria; pero a sabiendas de que hay siempre la posibilidad que la misma hipótesis sea rechazada o modificada posteriormente por nuevos descubrimientos, o bien; de que surjan nuevas hipótesis sobre el propio fenómeno, que asimismo sean confirmadas posteriormente. (13)

Otra particularidad de la hipótesis, es el hecho de que hipótesis incorrectas pueden ser de gran utilidad para el progreso científico. Según la original frase de Trotter: "En la

ciencia, el deber primario de las ideas consiste en ser útiles e interesantes, mas aún que ser ciertas". (14) Como antes se dijo, la función principal de la hipótesis es servir como punto de partida a investigaciones, que de manera a veces inesperada conducen a valiosos descubrimientos. (15)

Por añadidura, el grado de confirmación de la hipótesis puede ser: alto, mediano o bajo, (16) lo cual depende de la cantidad y la variedad de la evidencia disponible, (17) a pesar de estas limitaciones, y como antes se dijo, si la hipótesis obtiene suficiente evidencia experimental en su favor, puede aceptarse como válida en la práctica. (18)

De acuerdo con los puntos concretos de la investigación, deberían formularse las correspondientes hipótesis unitarias en tal forma, que el planteamiento de las cuestiones individuales se hiciera de la manera mas clara y precisa posible, lo cual contribuirá a que las soluciones que se encuentren sean asimismo bien definidas. A este respecto, convendría repetir el acertado dicho de B. Hill: "La precisión en la pregunta probablemente lleve a buscar la precisión en la respuesta". (19)

En segundo lugar, debe tomarse en cuenta que cada hipótesis unitaria sirve de base a un experimento, que está destinado específicamente a la comprobación de tal hipótesis y que podría llamarse asimismo experimento o estudio unitario. Por consiguiente, las conclusiones derivadas de esa investigación, se refieren en particular a la hipótesis unitaria y no son necesariamente aplicables a circunstancias distintas. Aún cuando a veces puede ser legítimo extender las conclusiones, siempre debe considerarse el riesgo de extrapolar los resultados mas allá de lo que permiten los datos obtenidos.

A continuación, conviene mencionar dos precauciones necesarias en el uso de la hipótesis. Una es la recomendación de abandonarla, tan pronto como se demuestre su inutilidad, esto no siempre es fácil, puesto que el investigador se encariña paternalmente con su teoría y le cuesta trabajo rechazarla. La segunda precaución es la de estar alerta para evitar que el prejuicio influya de manera inconsciente en la interpretación de

los resultados, es una falla humana ver sólo lo que deseamos ver, y es por ello natural la tendencia a tratar de que los hechos se ajusten a las ideas. Para evitar este riesgo, es necesario tener presente siempre, que la hipótesis, por muy plausible que parezca, es sólo una suposición, y que la plausibilidad no sustituye a la evidencia.

Habrà de considerarse además la presencia de dos puntos importantes: el primero, es la necesidad de considerar en el planteamiento de la hipótesis, la llamada hipótesis de nulidad, el segundo es la conveniencia de conocer el papel de las hipótesis auxiliares. Todo experimento requiere tomar en cuenta la posibilidad de que los resultados sean debidos a la casualidad. Por supuesto, la investigación bien planeada, pretende que la casualidad intervenga al mínimo, y, en todo caso, pretende también medir la probabilidad de la participación de la casualidad. Esta es la función de la hipótesis de nulidad, que sirve de base para determinar la frecuencia probable con que interviene el azar en los resultados del experimento, y para cuya determinación se utilizan los grupos testigo y el análisis estadístico.

En términos generales, la hipótesis de nulidad sostiene que los resultados de cualquier investigación son debidos al azar, o bien que las diferencias entre dos hechos no son significativas, sino expresión de meras coincidencias. Por extraño que parezca, en todo proyecto de experimento debe incluirse la hipótesis de nulidad, aceptando la posibilidad teórica de que los resultados sean producto del azar; pero en realidad, con el propósito de que el experimento refute la hipótesis de nulidad. Esto parece un poco artificial, ya que se supone que la investigación tiene como primer objetivo evidenciar la relación de causa a efecto en los resultados, mas bien que demostrar la probabilidad de la intervención del azar. Tampoco parece lógico a primera vista, aceptar desde el principio una hipótesis contraria a la finalidad del experimento, para luego tratar de rechazarla con las conclusiones del propio experimento. (20)

Dice Fisher: "Cada experimento existe para refutar la hipó

tesis de nulidad". (21) Las hipótesis auxiliares son teorías que han sido confirmadas por investigaciones previas, por lo cual pueden servir de apoyo a la hipótesis principal; sin embargo, al igual que todas las hipótesis, pueden ser rechazadas o modificadas por descubrimientos posteriores. (22)

En el caso de que el análisis estadístico o el experimento encaminados a valorar una hipótesis, resultan negativos, se está desarrollando un argumento lógico que se ha denominado, clásicamente, *modus tollens*, de tipo deductivo, en el cual la hipótesis es la premisa mayor, el acontecimiento experimentalmente provocado o el análisis estadístico son la premisa menor y la conclusión es infaliblemente válida.

Véase que la investigación puede esquematizarse de la siguiente manera:

Si H es verdad, también lo es I.

Pero I no es verdad.

---

Por tanto H no es verdad.

Ahora bien, si la observación o el experimento están acordes con la hipótesis, o sea, volviendo al esquema:

Si H es verdad, también lo es I.

I es verdad.

---

Luego H es verdad.

La afirmación de que la hipótesis es verdadera es una falacia, conocida como la "falacia de afirmar el consecuente". En efecto, la conclusión puede ser falsa aunque el resultado del experimento o del estudio estadístico haya sido positivo.

Al interpretar lógicamente los resultados de un análisis estadístico o de un estudio experimental es necesario tomar en cuenta que a menudo la hipótesis que se está investigando se apoya en hipótesis secundarias. Por tanto, es importante tomarlas en cuenta para decidir si un resultado experimental desfavorable permite descartar la hipótesis que se está investigando. (23)

El esquema de lo anterior sería el siguiente:

Si tanto H como A son verdaderos,

También lo es I.

Pero I no es verdadero.

H y A no son, ambos, verdaderos.

En fin, ponemos los pasos en la prueba de la hipótesis según Bunge: (24)

- 1.- Diseño de la prueba: Planeamiento de los medios para poner a prueba las predicciones; diseño de observaciones, mediciones y experimentos y demás operaciones instrumentales.
- 2.- Ejecución de la prueba: Realización de las operaciones y recolección de datos.
- 3.- Elaboración de los datos: Clasificación, análisis y evaluación de los datos empíricos.
- 4.- Inferencia de la conclusión: Interpretación de los datos a la luz del modelo teórico.

Corresponde ahora concretar después de haber formulado la hipótesis de trabajo, en base a la información disponible y a las posibilidades de asociación entre diversos factores, como se hará la prueba experimental de la hipótesis bajo condiciones en las que se ejerza un control de todos los factores de variación involucrados. En la aplicación del Método Experimental el investigador trata de mantener constantes todos los factores involucrados en el determinismo de un fenómeno y observa los efectos producidos por la variación de uno de los factores participantes, de esta manera, efectúa un análisis que evalúa la aportación de los diversos parámetros. El desideratum consiste en poder generalizar las observaciones y conclusiones para formular un principio general.

Antes de que las conclusiones se acepten como verdaderas, deben ser confirmadas por la repetición del experimento, de preferencia por otros investigadores; por tanto, la reproducibilidad es condición sine qua non de la Experimentación. (25)

La siguiente etapa de la Metodología de la Investigación está constituida en la existencia de las Leyes. Las leyes son expresiones que afirman en forma cualitativa, o de preferencia



cuantitativa, o sea las relaciones funcionales entre dos o más variables. (26)

Los progresos científicos han conducido al conocimiento de nuevas leyes en los fenómenos de la naturaleza y han arrojado mas luz sobre la esencia y el valor de las leyes físicas, que podrían denominarse: relaciones constantes de fenómenos físicos. Planck da la siguiente definición (apta acaso sólomente para las leyes cuantitativas) "Ley física es toda proposición que enuncia un enlace firme e invariablemente válido entre magnitudes físicas medibles; enlace que permite calcular una de estas magnitudes cuando las demás son conocidas por medición".

Según esto, la ley física expresa la dependencia existente entre las variaciones de dos objetos. De hecho, el investigador al buscar las leyes no puede examinar mas que un número de casos no poco limitado, resulta una inducción bastante restringida. Surge así la cuestión teórica sobre el derecho con que en tales condiciones se formula una ley natural; ( el concepto de ley natural se convierte en una regla para las aplicaciones técnicas, la característica mas importante de una ley natural se advierte en el hecho de que permite al científico prever que sucederá en un experimento dado. (27) ), pues la ley representa, respecto de los datos de experiencia, una ampliación: debe valer para todos los casos de aquel tipo, y sólo se ha experimentado, sin embargo, con unos pocos.

Cuando el investigador ha conocido una relación entre los datos experimentales, postula que valga en general; presupone pues, la validez de la ley, sacada de una serie de experimentos para todos los casos similares. De hecho, la ley se verá comprobada posteriormente por una serie de deducciones científicas de diversos campos y por continuas aplicaciones de la técnica industrial. Así que, en realidad, si era tal vez algo escasa la inducción cuando el científico formuló una nueva ley, después con un sinnúmero de casos en los que se la comprueba, y si persiste en pie, no cabe ya mas alegar defecto de inducción. Las leyes bien establecidas y las previsiones derivadas de ellas se verifican constantemente en la realidad, y sobre

esta correspondencia entre las previsiones teóricas y los hechos reales están fundadas todas las aplicaciones de la ciencia en la vida diaria, en la técnica y en la industria. (28)

Una Teoría da una interpretación de determinadas leyes físicas. Se concibe por ejemplo, un tipo, un modelo de la materia que nos permita explicar las leyes ponderales de la Química. Análogamente, se concibe un tipo de gas que explique las leyes de los gases. Una teoría no está de acuerdo únicamente con una sola propiedad conocida por la observación, sino que está en armonía con muchas; muchos fenómenos diferentes quedan unificados por una teoría. Razonando sobre entidades hipotéticas dotadas de propiedades hipotéticas, podemos deducir las leyes, de su modo de actuar; y estas leyes así deducidas están de acuerdo con las obtenidas por la experiencia.

Son las teorías construcciones de la mente, pero con fundamento en la realidad: con el fundamento de que las consecuencias deducidas de ellas se ajustan a las leyes empíricas sacadas de la experiencia. La ciencia no se contenta con la mera formulación de leyes empíricas, sino que trata de comprender los fenómenos de la naturaleza. De ahí las teorías en la Físico-química. (29)

La intención de la ciencia y el resultado de la investigación científica son el obtener conocimientos y control de alguna parte del universo. Ahora bien, ninguno de los objetos o fenómenos es tan sencillo que pueda ser considerado o abarcado en su totalidad. Los eventos naturales son casi siempre demasiado complejos, para que podamos comprenderlos o estudiarlos en todos sus aspectos. Abstraemos o singularizamos determinadas variables del complejo, para su estudio. Al hacer esta abstracción hacemos, desde el principio, un Modelo idealizado del objeto o evento en estudio, es decir, estamos sustituyendo la parte del universo que estamos estudiando, por un modelo de estructura similar, pero mas sencilla. Esto significa que los hechos científicos son modelos de los reales.

La construcción de modelos de los fenómenos naturales es una de las tareas esenciales de la labor científica. Más aún,

podemos decir que toda la ciencia no es sino la elaboración de un modelo de la naturaleza. Consideremos pues, las características de este tipo de modelos, y el papel central que desempeñan en la investigación científica: un modelo material es la representación de un sistema real, por otro distinto que se supone tiene algunas propiedades similares a las que se desean estudiar en el sistema original; en cambio, el modelo formal es la expresión simbólica, en términos lógicos, de una estructura idealizada que se supone análoga a la de un sistema real.

Cualquier ley, o cualquier teoría, es un modelo formal de los fenómenos a los cuales es aplicable. Exhibe relaciones entre las distintas variables de estos fenómenos, y afirma que estas relaciones formales son semejantes a las que existen en los fenómenos reales. Conviene hacer notar que la adopción de un modelo real para un fenómeno dado, implica la construcción previa de un modelo formal, que puede ser poco o muy preciso. En efecto, la afirmación que el proceso real B puede servir para determinados propósitos, como modelo adecuado para el estudio del proceso A, implica el reconocimiento de lo que tienen de común y de diferente, los dos procesos; lo que tienen en común es lo que constituye un modelo teórico.

Los modelos materiales pueden ser útiles en la realización de experimentos en condiciones mas favorables que las que rigen en el sistema original. Pero notando que no todos los modelos reales, son buenos o deseables. Por ejemplo:

1.- Si el modelo formal, que sugiere el empleo de determinado modelo real, es débil, o trivial, el uso del modelo real será no pertinente y además, estéril. En otras palabras, las analogías burdas no son fructíferas para el estudio científico.

2.- Si un modelo material no sugiere ningún experimento realizable, cuyos resultados no se pueden anticipar a partir del modelo formal correspondiente, dicho modelo será superfluo.

3.- Finalmente, si un modelo material o formal, tiene más atributos variables e independientes que el fenómeno al cual se aplica, el modelo no ayuda sino que perjudica.

La comprensión de los modelos formales, requiere una cla-

ve de los símbolos empleados, es decir, requiere entender lo que estos símbolos representan. Exige también, el establecimiento de reglas para pasar de los símbolos a la realidad y viceversa. Por ejemplo: la ley de Boyle y Gay Lussac, es un modelo formal de ciertas propiedades de los gases. Necesitamos saber lo que representan los símbolos P, V, R y T, y necesitamos conocer las reglas para darles valores a estos símbolos, o sea necesitamos convenir en un sistema de unidades y de medidas. El modelo es apropiado para expresar las relaciones, las relaciones que existen entre estas variables en los gases.

Para terminar, consideremos los límites en la elaboración de modelos. Un modelo material será primero necesariamente, un modelo parcial. Será semejante al original en algunos aspectos pero necesariamente distinto en muchos otros. Si queremos perfeccionarlo, tendremos que complicarlo agregándole algunas semejanzas mas, pero sin exagerar porque entonces caeríamos en lo absurdo.

Igual dificultad se presenta en el caso de los modelos teóricos. El modelo teórico ideal sería aquel que abarcara a todo el universo, que tuviera igual complicación que el universo, y que tuviera una correspondencia unívoca con el universo en todas sus partes. Pero la persona que pudiera comprender y elaborar un modelo de esta índole, ya no lo necesitaría porque sería capaz de comprender directamente al universo en su totalidad. La ciencia postula que la mente humana es finita y limitada, y que no es capaz de esta comprensión directa. Aspira a modelos o teorías de orden muy general, pero acepta, con modestia prudente, que esta generalidad tendrá, por necesidad, siempre algunas limitaciones. (30)

Cualesquiera que sean las motivaciones subjetivas de los científicos, la significación de la ciencia no debe buscarse hoy en el saber en cuanto tal, sino en el poder que ese poder confiere. Este "poder" de la ciencia no es exterior a la misma ciencia y, para contestarlo, no se podría invocar la distinción entre ciencias fundamentales y ciencias aplicadas. En efecto, es en la experiencia de su propio poder donde la ciencia se

constituye como saber. Esto es válido ya desde el nivel de las definiciones y conceptos: carácter operativo de los conceptos científicos que presuponen una experimentación real o simulada que permite determinar su contenido. (31)

#### II.4.- INSTRUMENTACION SEMANTICA EN LA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA.

Realizada la Observación, captados los datos, surge uno de los problemas mas graves de la ciencia: la conversión de las vivencias a palabras, de los objetos a símbolos, de los sucesos a juicios. Torpe y limitado es el lenguaje humano ante la formidable gama de imágenes que surgen como resultado del choque de los objetos y fenómenos con nuestros órganos de los sentidos, y no siempre sabe el investigador escoger con tino las palabras más adecuadas ni definir con máxima precisión sus conceptos.

La definición de los términos empleados es fundamental para el investigador científico, quien no debe omitirla nunca. En ocasiones podrá utilizar definiciones "descriptivas" o "analíticas" o empleará definiciones "estipulativas", las cuales sirven para introducir una expresión que se va a utilizar en un sentido específico, en el contexto de una discusión o teoría así, por ejemplo, podrá el investigador definir ácido diciendo: "por ácido vamos a entender todo electrólito que da iones de hidrógeno". Mejor aún es que el científico utilice las "definiciones operacionales" propuestas por Bridgman. (32) Consiste este tipo de definición en puntualizar, para cada término científico, la prueba, el procedimiento o la operación que deba practicarse para dar un criterio, para su aplicación.

Así, por ejemplo; la definición operacional de ácido podría ser: "si se introduce una tira de papel tornasol azul, es ácido el líquido, si y sólo si, el papel cambia de color a rojo".

Resulta obvio que la "operación" mencionada en la definición deberá escogerse y describirse de tal manera que pueda ser ejecutada en forma inequívoca por cualquier observador competente y que el resultado pueda ser constatado de manera objeti

va y no dependa esencialmente de quien ejecute la prueba. No escapa a nadie que mediante la adopción de criterios operacionales inequívocos aplicados a todos los términos científicos se asegura la posibilidad de repetir, de reproducir de manera objetiva todas las afirmaciones científicas.

No conviene terminar el análisis de la definición científica sin recordar las reglas prácticas clásicas (33) para evitar las fallas más graves. Así, la definición no debe ser ni demasiado amplia ni demasiado restringida, no debe contener elementos superfluos; no debe ser tautológica, o sea, una mera repetición de lo definido; no debe ser negativa si puede ser positiva; y lo definido no debe estar supuesto o incluido en la definición. (34)

#### II.5.- LIMITES DEL METODO CIENTIFICO.

Finalmente, es conveniente señalar las posibles limitaciones del Método Científico, que pueden consistir en los siguientes puntos:

- I. Acierto en la formulación de la Hipótesis.
- II. La validez de la Inducción.
- III. Ausencia de fuentes formales o incompletas.
- IV. Confiabilidad en las mediciones experimentales.
- V. Interpretación correcta de los resultados.

Pues bien, pensamos haber puesto una exposición -aunque breve- de la Naturaleza Científica de las Experiencias Técnicas, que abordaremos concretamente en el capítulo siguiente.

Fijamos lo anterior en virtud de que la ciencia y la técnica se encuentran íntimamente ligadas, aunque en este capítulo se estudió la Naturaleza Técnica de las Experiencias Científicas. En la que, por supuesto; la piedra angular es la presencia del Método Científico.

I I I  
E V O L U C I O N  
D E L O S P R O C E S O S D E R E F I N A C I O N  
E N L A O B T E N C I O N D E L A C E R O  
A L A L U Z D E L M E T O D O C I E N T I F I C O

La Naturaleza no se preocupa en absoluto, de que sus abstrusos métodos y razones; sean expuestos o no, según la capacidad de los hombres.

Galileo.

Contando con la herramienta útil del Método Científico podemos iniciar nuestra investigación de la manera siguiente, dividiendo la realización Metodológica así:

- III.1.- Observación Metódico-Histórica.
- III.2.- Hipótesis de la Evolución de los Procesos de Refinación del Acero.
- III.3.- Experimentación de los Procesos.
- III.4.- Ley de la Aceración.
- III.5.- Teoría de la Refinación.
- III.6.- Modelo de Prioridad Operacional en la Obtención del acero.

## III.1.- OBSERVACION METODICO - HISTORICA.

Sin especulación,  
no hay una buena:  
Observación original.

.Charles Darwin.

La Observación Metódica responde en nuestro caso particular, de la evolución de los procesos de refinación para la obtención del acero, a la siguiente definición:

La Observación Científica -nos dice Asti Vera- es la búsqueda deliberada y controlada de objetos, hechos y fenómenos, bajo ciertas condiciones previamente determinadas, la mas importante de las cuales es la intersubjetividad. (35)

Desde luego, que el conjunto de objetos, hechos y fenómenos, están representados por los datos (esenciales en el procedimiento del Método Científico), la presencia de los mismos respecto a la búsqueda deliberada y controlada de los hechos y fenómenos se encuentra en el desarrollo histórico de los procesos; en su dirección evolutiva a través del progreso técnico.

La relación de intersubjetividad previamente determinada, responde precisamente al fenómeno de cambio de un proceso con el que le sigue; en su percepción descriptiva como origen al proceso empírico, desde el punto de vista histórico. Como observamos a continuación:

El gran movimiento demográfico e industrial que se produjo en el siglo XVIII es debido a la introducción del carbón como fuente de energía mecánica para atender a los nuevos métodos de fundición y de elaboración del hierro. Una nueva civilización iba a salir de este combinado carbón-hierro. (36) Antes se hacía la fabricación del hierro a partir de una mezcla de mineral de hierro y de madera. Para ello los altos hornos tenían que absorber grandes cantidades de madera. La hulla apenas tenía importancia. A partir ya del siglo XII se manifestaron algunas inquietudes respecto de este combustible, y se atribuye al herrero belga Houillos la idea de servirse de la hu



lla como combustible. En el siglo XIII se explotaban ya minas de carbón, se extendió la calefacción por la hulla; de doméstica, la hulla se hizo industrial, y en el siglo XVII se difundió en las vidrierías, en las destilerías, en las cerveceras, en los hornos de cal.

La hulla servía para producir calor, mas no como agente químico. Para que diese la reacción, la hulla tenía que transformarse en carbón. Didley la destiló y obtuvo el coque. En 1735 Derby obtuvo con el coque la primera colada de hierro sin intermediación de la madera.

Con eso comenzó la edad moderna del hierro que iba a cambiar la civilización y a fundar la fortuna de Inglaterra. La calidad daba que desear por causa de las escorias. Huntsman, en 1740 construyó un crisol bastante resistente para que en él se pudiese fundir el acero cementado, y así fundido y templado, el metal quedaba mucho más homogéneo y podía ya servir para la fabricación de aparatos delicados.

El laminador era ya conocido en el siglo XVI. Dos siglos mas tarde se perfeccionó, de modo que en el alba del siglo XIX el laminador era capaz de satisfacer todos los pedidos de los arquitectos, de los ingenieros y de los constructores de máquinas. En 1774 se inventó una máquina de taladrar y de pulir, la nueva familia de máquinas-utensilios aumentó con un torno para hacer molduras; el metal era indispensable para la máquina de vapor y se impuso pronto en los mecanismos más diversos.

El hierro se fue haciendo el material universal: se acostaba uno en un lecho de hierro, se lavaba en una cubeta de hierro, se hacía gimnasia con aparatos de hierro, se jugaba al billar en una mesa de hierro.

El hierro colado, por su facilidad en amoldarse, llamó la atención de los constructores. Se obtuvieron <sup>por las</sup> ruedas de vagonetas, ruedas hidráulicas y calderas. En 1733 se construyó el primer puente de hierro. A finales del siglo XVIII, el arte de la guerra exigió grandes cantidades de metal, en la provisión de este metal, el armero y el fundidor de cañones tenían la preferencia sobre el ingeniero de los trabajos públicos; la

artillería había progresado fuertemente. Los problemas de la balística atrajeron la atención de los matemáticos, que le procuraron fundamentos rigurosamente científicos; en 1772 se inventó el péndulo balístico. La extracción del carbón, que tanto servía para la fabricación del hierro, siguió la misma progresión; para esta extracción, para aplicar las técnicas a la escala que convenía y para hacer fructificar los tesoros del subsuelo, se fundaron grupos capitalistas y sociedades de acciones; se cavaron pozos especiales para la ventilación y se organizaron procedimientos contra la inundación con poderosas bombas. Bajo su aspecto más amplio, la era industrial al principio reposaba sobre la mina, los productos de la mina ejercían su dominio sobre la vida industrial, facilitaban las invenciones y los perfeccionamientos.

De la mina procedieron la bomba de vapor y la máquina de vapor, más tarde la locomotora de vapor, el montacargas, el ascensor, el ferrocarril subterráneo para los transportes urbanos, los ferrocarriles. No poca labor exigió la invención y la utilización de la llamada bomba de fuego o de vapor, eliminar el agua de las minas fue el problema uno de la economía británica; las primeras bombas a vapor exigían mucho consumo de carbón y devoraban una fuerte proporción de la propia producción.

El progreso no podía venir sino de la ciencia, porque, por lo que conocemos de la historia, el papel de la técnica en la invención de la máquina de vapor había momentáneamente terminado. El método racional no conquistó la ciencia sino progresivamente, sector tras sector; el primer sector así conquistado, como hemos visto, fue, entre los griegos, la geometría que manifestó su eficacia en la arquitectura. El segundo sector conquistado fue la astronomía en tiempos de Kepler, de Newton y de Galileo; entonces recibió la navegación un impulso saludable con todas sus consecuencias políticas, económicas y sociales. Un tercer sector se iba a construir: el de la dinámica de los gases, esta tercera intervención del pensamiento científico iba a provocar en la civilización una revolución más importante aún que las dos primeras: iba a abrir la era de la civi-

lización industrial y mecánica. Esta intervención decisiva de la ciencia para crear la máquina de vapor moderna tuvo comienzos muy modestos; se elaboró la teoría de los gases, y aprovechándose de las realizaciones de algunos precursores Watt no inventó ya una máquina atmosférica, como los anteriores, sino una máquina de vapor, construyendo su primer prototipo en 1769 la bomba de fuego de Watt fue sin duda la más indicada para la eliminación del agua de las minas. Luego se vió que podía actuar como motor, con un uso más cómodo y universal que el motor animal; así el vapor llegó a reinar sobre los ferrocarriles y sobre la industria, se utilizó en la agricultura y en la navegación.

El carbón era el padre del vapor y del hierro. El hierro no era menos necesario que el vapor en la civilización industrial cuyo apogeo comenzaba. La industria metalúrgica se revelaba como la pieza maestra del siglo XIX. Los puentes suspendidos de hierro, sobre todo la torre Eiffel, proclamaban ante el mundo el apogeo de la edad del hierro.

Pero la fabricación del hierro costaba demasiado cara, no era fácil obtener una calidad uniforme. Carecía de elasticidad y de dureza; no se desconocían las ventajas del acero sobre el hierro. Hasta entonces el acero apenas servía para otra cosa que para fabricar armas, cuchillos, hoces y utensilios diversos; se tratase de acero cementado o fundido, su fabricación era difícil y onerosa. Bessemer introdujo su método: hizo pasar una corriente de aire por un recipiente de tierra refractaria no calentado en el que se vertía el hierro colado derretido. Más adelante, Martin encontró el secreto del acero moderno.

Thomas encontró la manera de desfosforar el hierro colado y a fines del siglo pasado se inició la edad del acero que coincidió con la prosperidad económica, el hierro entró en decadencia. Todas las máquinas construidas de acero reclamaban de las acerías una producción cada vez mayor, el acero servía para dotar de órganos a máquinas de vapor, para bielas de locomotoras y las hélices de transatlánticos. En 1838 surgió el primer modelo de martillo pilón, se reforzaron los laminadores,

tornos, sierras circulares, taladros, fresadoras, pulidoras, cepilladoras; eran movidas por correas, ramificadas a su vez sobre un árbol común a todo el taller, al que hacía girar una máquina de vapor. Viene la cadena sin fin, el revólver, la máquina calculadora, el cañón rayado, el material de guerra de acero fundido, el cañón, el fusil, la artillería, la ametralladora y el acorazado. Enumerar todas las invenciones, todas las aplicaciones que favorecieron la difusión del acero desde la mitad del siglo XIX, sería trazar el cuadro de toda la industria metalúrgica moderna.

Indiquemos solamente dos innovaciones de importancia, de que iba a depender de hecho toda la mecánica de precisión de hoy: los aceros especiales y las aleaciones.

De la adición de tungsteno y de manganeso al acero salieron los aceros especiales. La preparación del acero con silicio procuró a la industria eléctrica un gran consumo a partir de 1903, preparando el acero con otros elementos, se obtuvieron aleaciones con propiedades varias. Con acero al cromo se obtuvieron cuchillos inoxidables.

Por lo que toca a otros metales, en 1808, por electrólisis se descompusieron algunos minerales; se sospechó que tras la alúmina se escondía un metal de nuevo género. Se llamó aluminio, que no tuvo consistencia hasta 1827. Hacia 1888, después de su etapa inaugural, se le abrió una etapa triunfal. No se estimará bastante la fuerza con que la invasión del aluminio pesa sobre la civilización actual. Estamos también en la edad del aluminio, sin él no tendríamos: autos, aviones, artillería, ni motor de reacción, ni utensilios que diariamente usamos.

A principios de este siglo, la fisonomía de la investigación metalúrgica había cambiado completamente. Las fábricas acababan por fundar laboratorios, en que la investigación de procedimientos mejores y de productos nuevos era confiada a químicos auténticos. Buena parte de la metalografía contemporánea está fundada sobre el estudio microscópico de la estructura cristalina de los metales.

Hemos recogido en los datos anteriores la magnífica aparición observacional de Brugarola. Ahora presentamos la captación observativa de Casas Guzmán: (37)

Como es sabido, durante la refinación de arrabio se requiere de la absorción de oxígeno procedente de un producto oxidante. Para conseguir este objetivo, se han seguido desde hace muchos años diferentes caminos. El primero de ellos, es el convertidor (1856) que es un horno en forma de pera con un revestimiento interior de material refractario, este horno puede moverse alrededor de un eje horizontal y posee un revestimiento interior que varía según la fundición que se refina, si ésta es pobre en fósforo, el refractario es de sílice o de sílice y arcilla (Bessemer ácido), si contiene mucho fósforo el material a refinar, el revestimiento es de cal y magnesia (Thomas básico); en los cuales la oxidación se efectúa mediante aire soplado sobre el baño metálico y sin aporte alguno de calor exterior, aprovechando la energía producida durante las reacciones exotérmicas de oxidación de las impurezas.

El segundo de ellos, está basado en el horno de hogar abierto (Siemens-Martin) con aportación de calor externo y oxidación de las impurezas del baño metálico por medio de la escoria y del mineral de hierro. En el horno de hogar abierto, las reacciones se verifican por medio de la escoria, cuyo contenido es  $FeO$ , que oxida las impurezas del baño realizándose una migración lenta del oxígeno desde la escoria, hacia el baño, acompañado de un traspaso de las impurezas del baño hacia la escoria y humos producidos en el proceso. El oxígeno necesario es suministrado por la llama y por el mineral (actualmente también por inyección de oxígeno puro por medio de lanzas o quemadores), permaneciendo el baño tranquilo, con los problemas que esto representa para conseguir una rápida oxidación del carbono.

En cambio, en el convertidor con inyección de oxígeno por el fondo y en el convertidor con insuflado de oxígeno por arriba las reacciones predominantes son las que tienen lugar a través de los sucesivos estados de equilibrio entre el baño metálico y el gas. El baño es agitado violentamente y las reaccio-

nes de oxidación del carbono se llevan a cabo antes que los otros elementos, como por ejemplo el fósforo y el azufre, que necesitan una escoria adecuada para oxidarse.

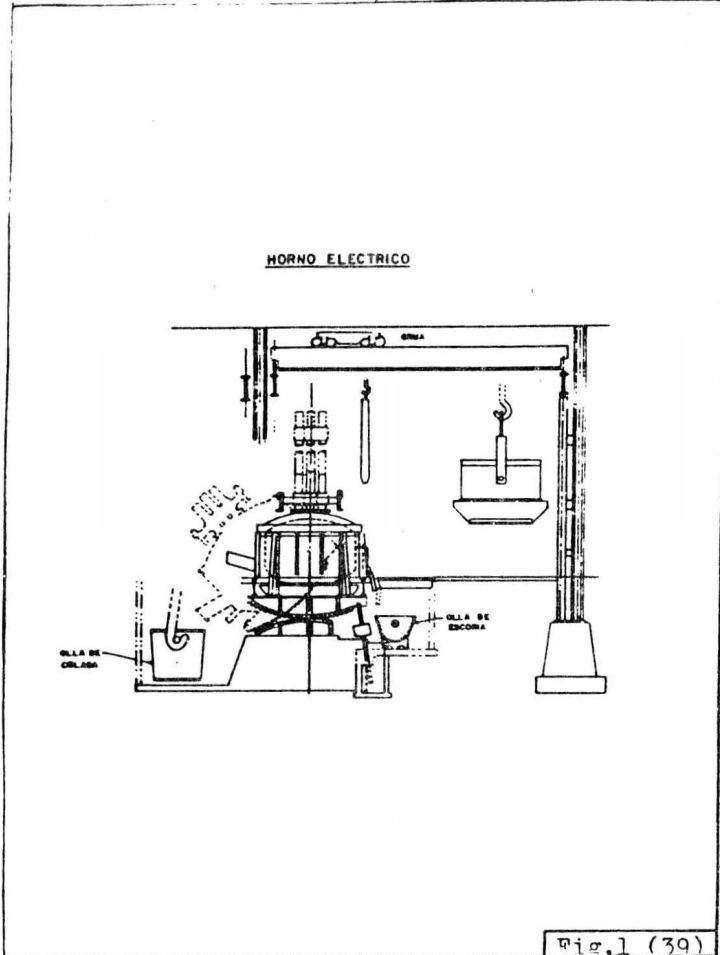
Observando ambos procedimientos se puede decir que: en los convertidores con inyección de oxígeno por el fondo y los de insuflado de oxígeno por arriba es necesaria la existencia de arrabios de composición tal que, la oxidación parcial o total de sus componentes pueda satisfacer las necesidades de la refinación (incluyendo en éstas la energía empleada en el calentamiento de un gran volumen de nitrógeno que no participa en el proceso).

La diferencia entre ambos caminos de producción del acero radica tanto en la naturaleza térmica como fisicoquímica; lo que en el fondo significa tener dos procesos totalmente diferentes de provocar las reacciones de oxidación durante la refinación del arrabio. (38)

Actualmente existe la tendencia generalizada consistente en la desaparición de los hornos Siemens Martin o de Hogar Abierto, con el incremento de acero producido por convertidores BOF y Hornos Eléctricos (Fig.1) y (Fig.2).

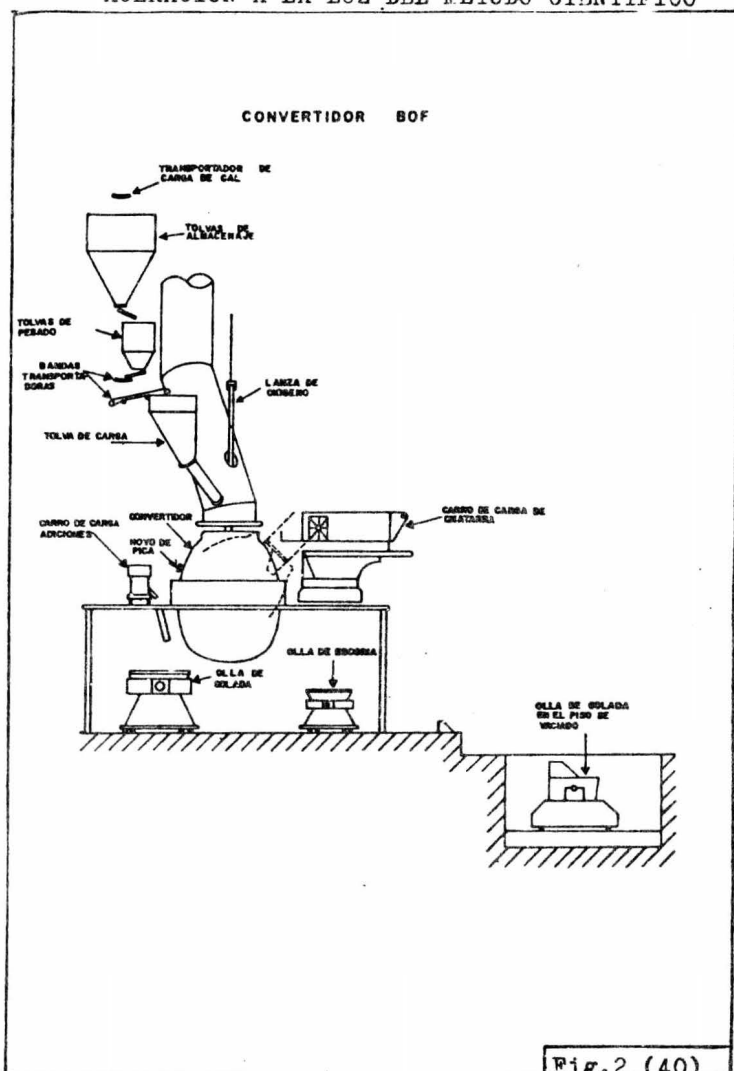
Con la aparición de los nuevos procesos, surgió la necesidad de emplear las mismas instalaciones ya existentes, de tal modo, que primero se insufló oxígeno sobre la superficie del baño de metal, durante la refinación en hornos de hogar abierto, por medio de una, dos o tres lanzas dependiendo del tamaño de los hornos, con esto los tiempos de refinación se redujeron hasta seis horas. Posteriormente, surgieron nuevos procesos de insuflado de oxígeno, como el proceso B.O.F. o L.D., en la (Fig.3) se puede observar que se utilizaron las mismas instalaciones y edificaciones, para la instalación de los convertidores BOF con insuflado de oxígeno por arriba. En la actualidad, están siendo substituídos los convertidores BOF por convertidores LWS, OEM y Q-BOP con inyección de oxígeno por el fondo.

Por otro lado, la idea de usar oxígeno puro para convertir el arrabio del Alto Horno en acero, fue sugerida en algunas patentes de Bessemer aproximadamente hace 100 años, pero



su uso no tuvo éxito por largo tiempo, debido al alto costo de separación del oxígeno del aire. Aproximadamente, hace 35 años se logró producir oxígeno puro a precios bajos, empezándose a usar en la fabricación de acero. En 1940 fue utilizado aire enriquecido con oxígeno para insuflarlo al Convertidor Thomas.

La idea de soplar una corriente de oxígeno a cierta velocidad sobre la superficie del arrabio líquido en presencia de escorias adecuadas formadas, fue puesta en uso por el Profesor Durrer en Suiza. La instalación de un convertidor experimental de tres toneladas de capacidad fue construido en 1947 y la pri



mera colada de aproximadamente una ton. de acero fue hecha en marzo de 1948. Con base en este trabajo se instaló un convertidor con capacidad de dos ton. en Linz, Austria y la primera colada se logró el 25 de junio de 1949, surgiendo el proceso llamado L.D. (Linz-Donawitz).

Se realizaron pruebas para mayores tonelajes (10-15 ton) por largo tiempo, para observar los aspectos económicos del -



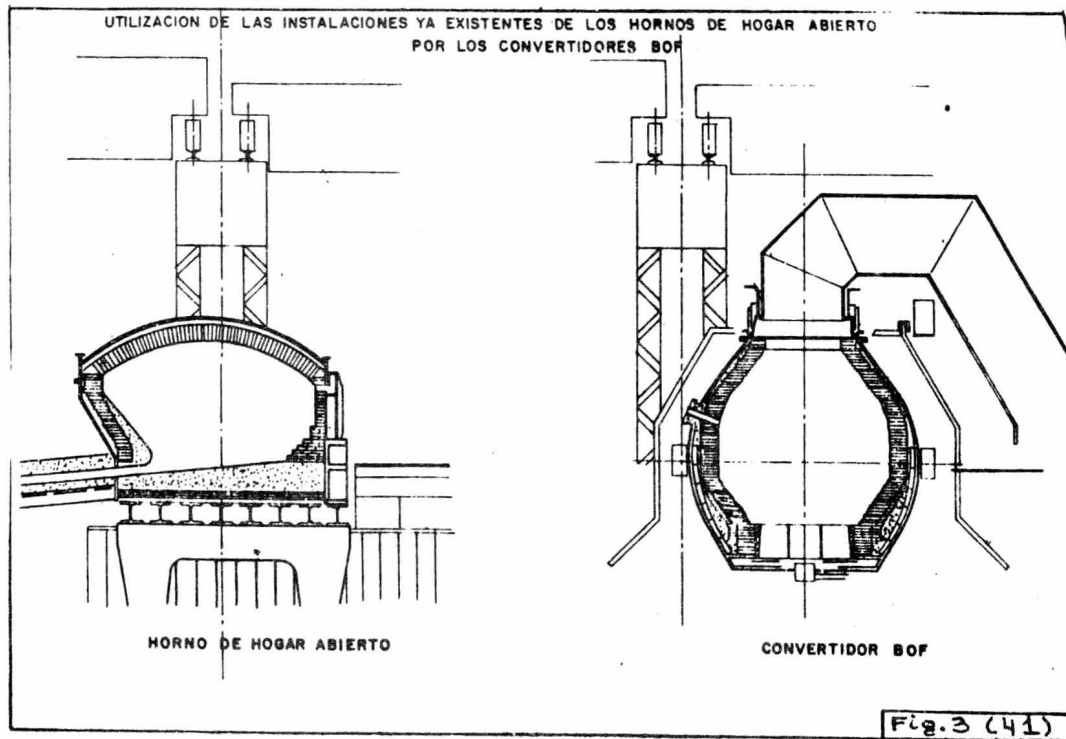
proceso y ser evaluados con razonable exactitud, los resultados fueron satisfactorios y se construyó una Planta piloto en Linz, con capacidad anual de 250 000 ton. Siendo la primera colada el 27 de noviembre de 1952, después se construyó una planta en Donawitz; la primera colada se produjo en mayo de 1953. La primera planta instalada fuera de Austria fue Dominion Foundries, Hamilton, Canadá; que inició sus operaciones en agosto de 1954.

Se observa todavía que los sistemas de operación del proceso BOF son muy similares a los de las primeras plantas. Sin embargo, el tamaño de los convertidores se ha incrementado hasta 385 ton. de capacidad; los rangos de flujo de oxígeno también ha sido incrementado en proporción a la capacidad del convertidor, por lo que los tiempos de soplo no han variado con respecto a las plantas originales.

Es interesante saber que en la primera planta, el arrabio fue relativamente bajo en P y fue indicado originalmente, que el proceso únicamente podía reducir el contenido de P en un 90%. Ejemplo: si la especificación del acero era 0.04% en P, el arrabio no debía exceder de 0.4%. Sobre este respecto, afortunadamente las primeras pruebas fueron hechas con arrabio relativamente bajo en P, de lo contrario el desarrollo del proceso - se observa - posiblemente se hubiese demorado.

El desarrollo del proceso B.O.F. ha sido excepcional, en 1957 la producción mundial de acero por este método fue aproximadamente 1%. Para 1960 se alcanzó casi 40 millones de ton. y en 1966 excedió los 100 millones de ton. por año; esto es el 25% de la producción mundial, para 1980 se producirán 616.95 millones de ton. Las primeras aplicaciones fueron para expandir la producción de acero, pero las ventajas económicas son tales que, el proceso está reemplazando otros ya existentes, tendiendo a eliminar por completo los hornos de hogar abierto, en pocos años más.

El método B.O.F. es aplicable a cualquier planta que tenga cantidades adecuadas de arrabio disponible y necesidad de aceros comerciales; especialmente para aceros de troquelado extra profundo, pero también se pueden producir aceros al carbón



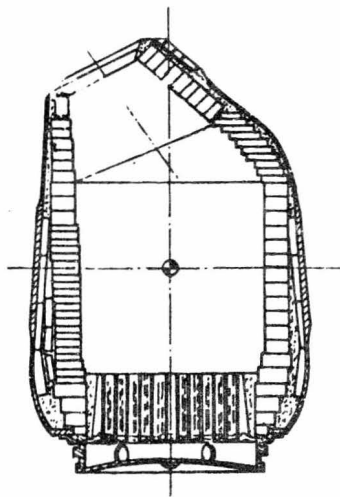
y aleaciones para muchos propósitos. Puede usar mineral o chatarra como refrigerante, pudiendo fundir hasta un 30%, lo cual está arriba del nivel promedio de chatarra en una planta. (42)

Existen por otra parte, los convertidores con inyección de oxígeno por abajo, como los que se usan en el proceso LWS (Loire/Wendel-Sidelor/Sprunck), este proceso fue desarrollado por Creusot-Loire y Wendel Sidelor en colaboración con la firma Etablissement-Sprunck de Moyeuve, Francia. En este convertidor LWS se sopla oxígeno por el fondo a través del tubo concéntrico interior (junto con cal en polvo) de una tobera y por el conducto exterior se inyecta combustible líquido, preferentemente combustóleo. Este proceso LWS ha sido utilizado industrialmente desde comienzos de 1971 en la acería de Rombas, que pertenece a la Sacilor (Ex-Wendel Sidelor) en un convertidor de 30 ton., también ha sido ensayado en un convertidor de 20 ton. de la Societa des Hauts-Fourneaux de la Chiers, concesionaria de la licencia del proceso LWS. En la actualidad hay 9 convertidores en operación, uno de 30 ton, 5 de 9 ton., 2 de 45 ton. y 1 de 64 ton., con una capacidad anual instalada de 1 990 000 ton. Para 1975 están en proyecto 8 convertidores más uno de 35 ton., 3 de 45 ton., 3 de 64 ton. y uno de 70 ton., con una capacidad anual de 2 550 000 ton., lo que es en 1975 de 4 540 000 toneladas. (43)

También existe otro tipo de convertidor, de forma similar al empleado en el proceso BOF, que es el denominado OBM; con la diferencia de tener un fondo totalmente reemplazable equipado con un sistema de 5 a 15 toberas, dependiendo del tamaño del convertidor; con el soplado sobre la superficie del metal, gran parte del volumen del convertidor lo ocupa la escoria de consistencia espumosa, mientras que en el convertidor con soplado por el fondo se observa que durante el 90% de la refinación se produce una escoria seca y pastosa, la que es fácil de controlar y eliminar. Un aspecto importante es la posibilidad de substituir la chatarra empleada como enfriante por mineral de hierro en casi un 100%, este proceso permite el uso de mineral de hierro, debido a la ausencia de una escoria espumosa y

ADAPTACION DEL FONDO DE UN CONVERTIDOR Q-BOP A UN CONVERTIDOR THOMAS

CONVERTIDOR THOMAS



CONVERTIDOR Q-BOP

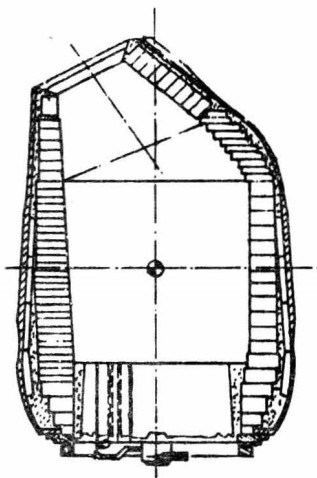


Fig. 4 (44)

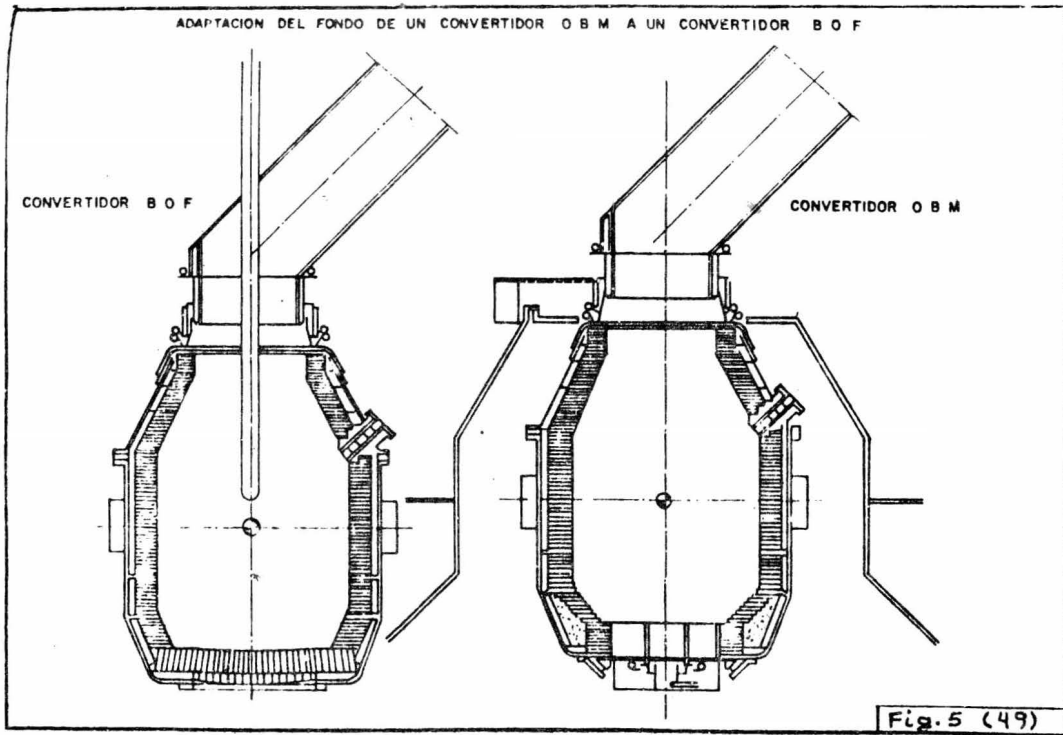
a la vigorosa agitación, el mineral reacciona completamente con el metal líquido; lo que significa que no hay ningún aumento en el contenido de FeO en la escoria. Además existe un control adecuado en el soplado. (45)

Este método de refinación del acero con inyección de oxígeno por abajo: O.B.M. (Oxygen Bodenblasen Maxhüette) y cuyo nombre fue sugerido por Maximillianshüette Iron Steel Company of West Germany, surgiendo en 1965 cuando Guy Savard y Robert Lee de L'Aire Liquide, Canadá experimentaron en un convertidor de 250 lb. del uso de un gas protector en una tobera de oxígeno, también se experimentó en los hornos de hogar abierto de la Dominion Steel, Hamilton, Canadá y la Coal Company, Sidney, Nova Scotta, llamándole "Proceso SIP". (46)

A mediados de 1967 el Dr. Brotzmann de Maxhüette en colaboración con L'Aire Liquide (con Savard y Lee) trabajaron en el desarrollo de una nueva tecnología de insuflado de oxígeno por el fondo, semejante al proceso Thomas. En 1968 se produjo acero a escala industrial en Sulzbach Rosenberg, Alemania; usando oxígeno puro empleando el convertidor OBM o Q-BOP. (47)

Se ha controlado la técnica con la experiencia obtenida en Gary Works, a tal punto que actualmente sólo un 10% de las coladas han sido corregidas después de su refinación. En la actualidad es importante considerar la coordinación de una máquina de colada continua con la producción de acero en convertidores al oxígeno. Por lo que es interesante mencionar que de 1968 a 1974, la compañía Concast ha construido 66 plantas para colada continua de billets, en 61 plantas se produce el acero en hornos eléctricos y en 5 plantas se usan convertidores, de las cuales 3 usan el proceso OBM. (48)

En 1967 se publicaron los primeros resultados del proceso y en 1969 se construyó el primer convertidor OBM fuera de Maxhüette en Roechling Iron Steel Works. De 1969 a 1971 se transformaron varios convertidores Thomas para producir 5 millones de ton. anuales, y el 15 de diciembre de 1971 Gott anunció en una conferencia de prensa que la U.S. Steel Corporation decidió instalar sus convertidores Q-BOP de 200 ton. La capacidad anu-



al instalada en 1974 alcanzó 17.36 millones de ton. con 45 convertidores instalados con capacidades que varían de 5 a 250 ton. Para 1980 están en proyecto 8 convertidores con capacidades de 150 a 250 ton. con una capacidad anual de 12.9 millones de toneladas. (50)

En 1967 al trabajar el Dr. Brotzmann junto con Savard y Lee en Canadá, al usar una tobera con un conducto central por el que se inyecta oxígeno con cal y un conducto exterior concéntrico por el que fluye gas propano como protector aprovechado el efecto endotérmico que se obtiene en la boca de la tobera. (51) y la primera cclada experimental del proceso Q-BOP fue hecha en diciembre de 1967 y en marzo de 1968, se transformó así la acería de Sulzbach-Rosenberg y en 1971 la U.S.Steel Corporation se interesó por el proceso y decidió hacer la transformación de sus instalaciones de 5 millones de ton. anuales empleando arrabio bajo en fósforo.

Las instalaciones de la U.S.Steel de Fairfield Works en Birmingham, Alabama, tenían 12 hornos de hogar abierto de 230 ton., tres de los cuales fueron substituídos por dos convertidores Q-BOP de 200 ton. instalados en lugar de los hornos 5, 6 y 7. Los nueve restantes siguen en operación.

Ahora bien, existe la posibilidad de transformar un convertidor Thomas en un convertidor Q-BOP (Fig.4) y un OBM a BOP (Fig.5), en la primera; el diseño de las toberas y su distribución en el fondo del convertidor se determinó en forma experimental, el uso de cal en polvo inyectada por el fondo dió como resultado una operación más silenciosa y a ésto se debe la denominación: Q-BOP (Quiet or Quick Basic Oxygen Process). (52)

Por último, cabe hacer la mención en esta elaboración observativa y metódica de la primera etapa del Método Científico de la captación no sólo sensible, sino histórica de los datos generales de la perspectiva de la aceración; observando además los posibles cambios y adaptaciones de los instrumentos operacionales entre sí.

### III.2.- HIPOTESIS DE LA EVOLUCION DE LOS PROCESOS DE REFINACION DEL ACERO.

Observé como un sistema  
va asociado a otro sistema...

Alexander Pope.

Como es sabido, la Hipótesis es el supuesto para alcanzar ciertas consecuencias que explica provisionalmente un fenómeno o varios. En nuestro estudio: el fenómeno es la evolución de los procesos de refinación del acero y el supuesto para explicarnos esa transformación fenoménica descansa en los experimentos verificados y verificables, que ya se han desarrollado.

De estas experiencias de refinación del acero, se obtienen consecuencias que nos permiten elegir modelos, cuyos puntos esenciales están comprendidos en los contenidos de las Leyes y de las Teorías.

La Hipótesis que planteamos estriba en la aplicación operacional progresiva de los procesos de refinación. Con la preocupación evidente sobre las leyes de la Termodinámica y de la Cinética; que son generales para todos los procesos y que no pueden variar metalúrgicamente entre sí. Sin embargo, mediante técnicas de operación adecuadas, se pueden obtener condiciones cercanas a las óptimas con las ventajas que ello significa para la rapidez y seguridad de los procesos, (53)

Es decir, la explicación provisional sería dada por la experimentación de cada uno de los procesos y de su comparación; lo que, en efecto, se tendría la verificación de la misma.

En la etapa anterior, vimos por medio de la Observación: el progreso de la refinación del acero a través del tiempo; la hipótesis puede explicar este progreso en base a las experiencias de refinación ya efectuadas, y probamos esta hipótesis en la objetiva realidad de los procesos.



### III.3.- EXPERIMENTACION DE LOS PROCESOS.

No es paradoja expresar que: en nuestras elucubraciones más teóricas podemos estar muy próximos a nuestras aplicaciones más prácticas.

Alfred North W.

La estructura del Método Experimental que presentamos, es de la siguiente manera:

- a) Introducción Técnica-Experimental al Proceso de Acera-  
ción en general.
  - b) Datos y Factores Técnicos de Operación de cada Proceso,  
con atención especial en aquellos procesos de obtención  
del Acero al Oxígeno. Siguiendo la secuencia de pasos  
empíricos para dicha obtención.
  - c) Interpretación Comparativa de los Procesos de Aceración  
al Oxígeno.
- a) En la introducción técnica-experimental al proceso de acera-  
ción en general, tenemos los siguientes aspectos: (54)

#### I Proceso Metalúrgico.

1.1.- Decarburización o Equilibrio Carbono-Oxígeno: Este factor relaciona la pérdida o ajuste del contenido de carbón en el acero, por la formación de CO (gas).

1.2.- Cantidad de escoria: La cantidad de escoria depende de las impurezas del baño de metal, lo cual está en relación di-  
recta a la composición química del arrabio.

1.3.- Pérdidas de metal en la escoria: La cantidad de metal en forma de FeO que se pierde en la escoria, es uno de los fa-  
tores que aumenta la eficiencia del proceso.

1.4.- Pérdidas de metal por vaporizaciones: En los proce-  
sos de aceración siempre existe la formación de una gran canti-

dad de humos rojizos en el momento de la insuflación del oxígeno y esto trae como consecuencia la pérdida de metal por vaporizaciones debido a las altas temperaturas de reacción en el momento del soplado. Existe además de la pérdida de metal, una pérdida de energía requerida para la formación de estas partículas de óxidos de hierro. (La entalpía de formación de polvos es de 48 000 Kcal/Kg).

#### 1.5.- Calidad del Acero.

1.5.1.- Contenido de hidrógeno en el acero: Al emplearse mayores concentraciones de oxígeno puro, el contenido de hidrógeno en el producto final disminuye.

1.5.2.- Contenido de nitrógeno en el acero: Altas concentraciones de nitrógeno en el acero causan fragilidad debido a la formación de nitruros, y el contenido de nitrógeno en el acero depende de la proporción de aire empleado en el soplo.

1.5.3.- Contenido de azufre en el acero: El contenido de azufre en el acero, depende del contenido de azufre en el arrabio y de la efectividad del proceso de desulfurización.

1.5.4.- Contenido de fósforo en el acero: La concentración de fósforo en el arrabio es uno de los factores más importantes que hay que considerar para determinar el consumo de cal y de oxígeno en el proceso de desfosforización.

## II.- Consumos.

2.1.- Consumo de oxígeno: El consumo de oxígeno depende de la efectividad del proceso y de las impurezas en el arrabio.

2.2.- Consumo de cal: El consumo de cal está en función de la cantidad de fósforo, azufre y silicio que contenga el metal líquido. Sin embargo, también depende del proceso empleado en la adición de la cal y del contacto directo que tenga con las impurezas del metal fundido.

2.3.- Consumo de gas propano o combustóleo como protector

de las toberas: El gas propano se usa como gas protector, el gas es inyectado por el tubo externo de las toberas con el objeto de protegerlas de un calentamiento excesivo debido a la gran cantidad de calor que se produce por la reacción del oxígeno con las impurezas del metal. Este gas es un combustible que se quema en el momento de salir por la boca de la tobera; se podría pensar que al quemarse se produciría un calentamiento y no un efecto refrigerante, pero sucede lo contrario, porque la energía que necesita para quemarse la toma del metal que está en contacto con la punta de la tobera, la reacción es endotérmica.

2.4.- Consumo de nitrógeno para el purgado de las toberas: El nitrógeno se utiliza para evitar que el metal líquido penetre a las toberas durante la suspensión del soplo de oxígeno.

2.5.- Consumo de refractario: El consumo de refractario está en relación directa con la reactividad de la escoria.

2.6.- Consumo de arrabio, chatarra y mineral o pélets por tonelada de acero: Habrá de considerarse los Kg y los porcentajes en peso (arrabio), el por ciento en peso y a granel (chatarra) y en polvo (mineral), pélet de 12-25 mm (pre-reducido); así como: la reacción del pélet en el baño y su penetración en él mismo, además de la flotabilidad en la escoria.

### III Condiciones de operación.

3.1.- Eficiencia del convertidor: La eficiencia del convertidor relaciona la cantidad real de metal fundido que se obtiene y las impurezas indeseables.

3.2.- Disponibilidad del convertidor: Este es un factor muy importante que hay que considerar, porque de él depende el tiempo efectivo de aprovechamiento del convertidor.

3.3.- Operación del sistema de inyección: El sistema de inyección de oxígeno, nitrógeno, aire, gas, combustóleo o cal, es un factor bastante importante en la operación del converti-

dor y de éste depende el buen funcionamiento del proceso.

3.4.- Operación del sistema de carga: La carga del convertidor es relativamente fácil y su operación está en función de una secuencia pre-establecida, lo cual implica que se puede - considerar igual para cualquier proceso, y únicamente dependería del tonelaje o capacidades de operación.

3.5.- Operación del convertidor: Dentro de este factor, es tán considerados varios aspectos, como son la facilidad de ope ración, su control y complicaciones de la interacción de todas las variables del proceso.

3.6.- Operación de la planta de oxígeno: Es igual para to dos los procesos y depende de la capacidad instalada.

#### IV Instalaciones requeridas.

4.1.- Relación altura-diámetro del convertidor: Se debe tener los siguientes datos: relación H/D, volumen, capacidad y volumen específico.

4.2.- Construcción civil y estructural para la instala ción de una lanza o de toberas: Se refiere a la obra civil y estructural para la construcción e instalación de un conver tidor con insuflación de oxígeno con lanza o con sistema de tobe ras en el fondo.

4.3.- Instalaciones neumáticas de una lanza o toberas: Una lanza o un sistema de toberas requiere de instalaciones neumáticas, las cuales nos proporcionan el flujo de los dife rentes gases necesarios para el proceso.

4.4.- Instalación de tolvas de carga para adiciones: La carga de adiciones es en el convertidor de forma mecánica y se puede considerar que depende del tonelaje deseado.

4.5.- Instalación de una planta de cal: Para la prepara ción de cal a un grado fino, es necesario instalar una planta procesadora de cal en piedra que proporcione una molienda de 0.1 mm.

4.6.- Instalaciones de instrumentación y control electrónico: La complicación de la instrumentación y el control electrónico de un proceso depende de las instalaciones para su operación y del proceso en particular.

4.7.- Instalaciones de carga y descarga del convertidor: Todas las instalaciones que se requieren para cargar y descargar el convertidor son, por ejemplo: grúas, carros transportadores de arrabio, ollas de colada, sistema hidráulico y mecánico para la inclinación de volteo del convertidor, etc.

4.8.- Instalaciones para el control de la contaminación: Todas las instalaciones como por ejemplo, el sistema OG, o cualquier otro tipo de lavador y recuperador de polvos se pueden adaptar a cualquier tipo de convertidor.

4.9.- Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario: Para agilizar el mantenimiento y las preparaciones del refractario en el convertidor, es necesario tener ciertos equipos de transporte y lugares de almacenaje, con el objeto de reducir a un mínimo el tiempo perdido inútilmente en las campañas de preparación del convertidor. Para ésto se cuenta ya sea con un lugar de almacenaje en el piso de tolvas o bien al mismo nivel del suelo. Esto depende de si las reparaciones del convertidor se hacen por la boca del convertidor o sea que el enladrillado se hace de abajo hacia arriba o bien que se tengan que hacer cambios del fondo completo de convertidor, lo cual se recomienda tener el material necesario al nivel del suelo.

#### V Factores intangibles.

5.1.- Disponibilidad de la materia prima: Dependiendo de la facilidad de obtención de la materia prima es en gran parte el éxito del proceso. En el proceso se requiere de arrabio, chatarra, mineral, péllet, cal, gas natural, gas propano, combustóleo, agua, fundentes, ferroaleaciones y el refractario.

5.2.- Número de plantas en operación: De acuerdo a la a-

ceptación del proceso y a su antigüedad, se puede considerar como factor importante dentro de un estudio técnico, el número de convertidores instalados en el mundo.

5.3.- Capacidades instaladas: Se refiere a la capacidad de producción neta de acero que se produce con cada tipo de convertidor.

5.4.- Capacidad mínima y máxima del convertidor: Se refiere al tamaño y capacidad del convertidor instalado.

5.5.- Experiencia y aceptación del proceso: Hay procesos que están aún en desarrollo y no se tiene aún los suficientes resultados de su efectividad. Sin embargo, tienen un gran futuro y un potencial muy grande; en este factor, es necesario considerar la experiencia y su posibilidad de desarrollo de su tecnología.

b ) Datos y factores técnicos de operación de cada proceso, con especial atención en aquellos procesos de obtención de acero al oxígeno.

En la parte correspondiente a la Observación, mencionamos que es necesaria la existencia de arrabios de tal composición, que la oxidación parcial o total de sus componentes pueda satisfacer las necesidades de la refinación.

En el caso del procedimiento Bessemer ácido, el fósforo y el azufre no son escorificados en absoluto. En el procedimiento Thomas, la rapidez de la descarburación dificulta la formación de una escoria reactiva, impidiendo una desfosforación desde el comienzo y postergándola hasta que se haya oxidado todo el carbono, como es fácil comprender, una buena desfosforación puede conseguirse sólo a costa de una oxidación excesiva del acero. Los aceros soplados en el convertidor, presentan en su composición cantidades importantes de nitrógeno que empeoran sus propiedades mecánicas.

Por otro lado, el horno de Hogar Abierto necesita la aportaci-

ón de calor exterior, debido a la lentitud de las reacciones por la dificultad de decarburar en un baño en calma. Su productividad horaria es mucho menor que la del convertidor y en conjunto el procedimiento resulta ser más costoso de instalar y de explotar. La refinación de acero en el Horno de Hogar Abierto se lleva a cabo de 8 a 10 horas. (55)

Conviene enunciar los factores que motivaron el cambio de la aceración al proceso de solera abierta:

- 1.- Empleo de combustibles de calidad superior (aceite, gas natural, gas de coquería; en lugar de gasógeno).
- 2.- Más elevado precalentamiento de aire a fin de incrementar la temperatura de la llama ( $900^{\circ}$  a  $1000^{\circ}\text{C}$ ).
- 3.- Mejores refractarios para resistir la temperatura.
- 4.- Dispositivos de carga más rápidos para la adición de materiales férreos.
- 5.- Empleo de arrabio líquido en lugar de lingote de hierro.
- 6.- Mayores dimensiones en los hornos.

Como ya hemos mencionado, actualmente existe la tendencia por la desaparición completa de los hornos de Hogar Abierto y suplirlos por los convertidores BOF y los Hornos Eléctricos.

Ahora bien, pondremos de una manera ordenada los datos y factores técnicos de operación del Proceso B.O.F. :

I Proceso Metalúrgico B.O.F. (Basic Oxygen Furnace), (Cf.54)

1.1.- Decarburización o equilibrio carbono-oxígeno: Está limitada por el área de contacto entre el chorro de oxígeno y parte de la superficie del metal líquido que está en contacto con la escoria.

1.2.- Cantidad de escoria: Cantidad de escoria máxima: 145 kg/ton. Consistencia de la escoria: Fluida; y basicidad:3.5.

1.3.- Pérdidas de metal en la escoria: El grado de oxidación de la escoria es alto debido a que la insuflación de oxígeno sobre la superficie, aumenta la posibilidad de pérdidas de metal. Contenido de  $\text{FeO}$  en la escoria: 19-25%.

1.4.- Pérdidas de metal por vaporizaciones: En este proceso hay la formación de una gran cantidad de humos rojizos y en consecuencia las pérdidas de metal son considerables: 15 kg/ton.

1.5.- Calidad del acero:

1.5.1.- Contenido de hidrógeno en el acero: En ciertos convertidores se emplea en el soplado una mezcla de aire-oxígeno, así que depende en gran parte, de la proporción de aire que se emplee para obtener un producto final con bajas concentraciones de hidrógeno: 0.01-0.02%.

1.5.2.- Contenido de nitrógeno en el acero: En este proceso se utiliza una cierta proporción de aire en el soplado y de ésta dependerá el contenido de nitrógeno en el acero. En los convertidores modernos se está utilizando menores concentraciones de aire: Contenido de  $N_2$ : 0.008-0.01%.

1.5.3.- Contenido de azufre en el acero: La desulfurización en el convertidor depende de la reacción entre la cal y los sulfuros contenidos en el arrabio. Este contenido de azufre es eliminado en forma de escoria. La efectividad del proceso depende en gran parte de la forma de insuflación del oxígeno, mediante una lanza y sobre la superficie del baño de metal líquido. Contenido de azufre en el acero: 0.05% máx.

Porcentaje de desulfurización posible: 10-30%.

1.5.4.- Contenido de fósforo en el acero: La defosforización en este proceso es regular, debido a la limitación del área de contacto entre la interfase metal-escoria y el oxígeno insuflado sobre la superficie.

Porcentaje de P en el arrabio: 1.80%.

Porcentaje de P en el acero : 0.05%.

## II Consumos.

2.1.- Consumo de oxígeno: El consumo de oxígeno y los tiempos de soplado son mayores debido a que el contacto del oxígeno con el metal líquido está limitado a la superficie y la reacción no es tan perfecta.



Capacidad del convertidor considerado: 201 ton.

Consumo: 54.5 m<sup>3</sup>/ton.

545.0 m<sup>3</sup>/min.

11 445.0 m<sup>3</sup>.

Presión: 10-12 ATM.

Porcentaje de O<sub>2</sub> utilizado en el soplo: 80-95%.

Agitación del baño durante el soplado: poca.

Tiempo de soplado: 14-25 min.

Mínimo: 14 min.

Promedio normal: 21 min.

Tiempo total del proceso:

Mínimo: 40 min.

Normal: 44-45 min.

Práctica con 2 escorias: 50 min.

2.2.- Consumo de cal: En este proceso la cal se agrega por la boca del convertidor en forma de piedra caliza. La reactividad de ésta con las impurezas, no es muy buena debido al área de contacto entre la cal y las impurezas. Se forma una escoria muy fluida.

Grado de preparación de la cal: Grueso.

Cal en piedra: 140 kg/ton.

Cal en polvo: -

Cal total : 140 kg/ton.

2.3.- Consumo de gas propano o combustóleo como protector de las toberas: En este proceso no se usa gas propano. El efecto enfriante o refrigerante lo hace la recirculación de agua a través del tubo externo de la lanza.

2.4.- Consumo de nitrógeno para el purgado de las toberas: En el proceso BOF se utiliza aire a presión.

2.5.- Consumo de refractario: El mayor consumo de refractario sucede en la parte de la boca del convertidor que es donde se forma la escoria.

Consumo de refractario: 10.0 kg/ton.

Fondo: 300-400 coladas.

Convertidor: 300-400 coladas.

Tipo de fondo: Fijo.

Tipo de refractario: Magnesita.

Reparación del convertidor: 98-122 hr.

2.6.- Consumo de arrabio, chatarra y mineral o pelets por tonelada de acero:

Porcentaje en peso de arrabio: 65%.

Kg de arrabio: 450 .

Porcentaje en peso de chatarra: 30%.

Chatarra a granel: 50-100 kg.

Mineral en polvo: -

Pelet 12-25 mm (pre-reducido): 100 kg.

Reacción del pélet en el baño: Controlable.

Penetración del pélet en el baño: Alta.

Flotabilidad en la escoria: Poca.

### III Condiciones de operación.

3.1.- Eficiencia del convertidor: En este proceso hay ciertas pérdidas de metal en la escoria y en forma de humos.

$$\% \text{ en peso} = \frac{\text{metal fundido}}{\text{arrabio} + \text{chatarra} + \text{adiciones}}$$

Eficiencia: 85%.

3.2.- Disponibilidad del convertidor; Las pérdidas de tiempo en las reparaciones totales están compensadas con la producción obtenida durante la campaña.

3.3.- Operación del sistema de inyección: El sistema neumático es sencillo y su operación no implica muchas variables.

3.4.- Operación del sistema de carga: Es fácil y está en función del tonelaje o capacidades de operación.

3.5.- Operación del convertidor: Es fácil.

3.6.- Operación de la planta de oxígeno: Esta operación depende de la capacidad instalada.

IV Instalaciones requeridas.

4.1.- Relación H/D: 1.18-1.42.

Volumen: 82.1-96.5 m<sup>3</sup>.

Capacidad: 110-120 ton. (SICARTSA).

Volumen específico: 0.75-0.80 m<sup>3</sup>/ton.

4.2.- Construcción civil y estructural para la instalación de una lanza o de toberas: Las instalaciones necesarias para una lanza son elevadas y la cimentación debe ser profunda debido a la altura del edificio.

4.3.- Instalaciones neumáticas de una lanza o toberas: La instalación neumática es relativamente sencilla debido a que sólo hay flujo de oxígeno y agua de recirculación para el enfriamiento de la lanza. El control del flujo no es complicado y no requiere de instalaciones complicadas en comparación con las instalaciones requeridas para la instalación de toberas.

4.4.- Instalación de tolvas de carga para adiciones: El tamaño de las tolvas y la capacidad de éstas es bastante grande debido a que la adición de cal se hace por la boca del convertidor al igual que todas las adiciones.

4.5.- Instalación de una planta de cal: En este proceso no es necesaria la preparación de cal hasta un grado fino.

4.6.- Instalaciones de instrumentación y control electrónico: La instrumentación y el control están limitados al flujo de oxígeno y agua de refrigeración de la lanza. También se requiere la instrumentación para el control del convertidor y se recomienda la instalación de una computadora para el cálculo de las cargas y las adiciones necesarias.

4.7.- Instalaciones de carga y descarga del convertidor: Las instalaciones de carga y descarga son casi las mismas para cualquier tipo de convertidor y sólo varían dependiendo de la capacidad y de las características del proceso. En este tipo de convertidor BOF se emplean equipos no muy complicados para su carga y descarga.

4.8.- Instalaciones para el control de la contaminación: Se puede emplear cualquier tipo de control anticontaminante, pero tiene cierta dificultad para su adaptación debido a la gran altura que se requiere para la instalación de la lanza y al diseño de la boca del convertidor que en ciertos casos no es concéntrica.

4.9.- Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario: Se recomienda tener el refractario al nivel de carga de adiciones, lo cual requiere el transporte y el almacenaje en lugares especiales.

#### V Factores intangibles.

5.1.- Disponibilidad de la materia prima: Para el proceso BOF sí se dispone del suficiente arrabio, de chatarra, mineral; hay posibilidad de emplear pelets, y se dispone de la suficiente agua, fundentes, ferroaleaciones y del refractario.

5.2.- Número de unidades en operación: 515 convertidores BOF.

5.3.- Capacidad instalada: 453.75 millones de toneladas.

5.4.- Capacidad mínima y máxima del convertidor: Se refiere al tamaño y capacidad del convertidor instalado: 20-385 ton.

5.5.- Experiencia y aceptación del proceso: Para el proceso BOF es de 22 años, aunque su origen se remonta al año 1864.

5.6.- Experiencia en México sobre el proceso: El número de convertidores es de 3 con una capacidad de 60 toneladas.

A continuación presentamos la secuencia típica de operación de un Convertidor B.O.F. (56)

| ACTIVIDADES:  | TIEMPOS<br>POR OPERACION | MINUTOS<br>ACUMULATIVO |
|---|--------------------------|------------------------|
| 1.- Vaciar el convertidor y colocarlo en posición de recibir la chatarra. | 0.40                     | 0.40                   |

|  |       |       |
|--|-------|-------|
| 2.- Verter chatarra al convertidor   | 2.30  | 2.70  |
| 3.- Bascular el convertidor para acumular chatarra en el fondo y resitarlo en posición de recibir arrabio.   | 0.50  | 3.20  |
| 4.- Cargar arrabio líquido.  | 2.00  | 5.20  |
| 5.- Volver convertidor a posición vertical. Bajar lanza oxígeno hasta un metro del espejo. Arrancar reloj medidor y comenzar soplado del oxígeno.- Agregar la mitad de la cal.   | 1.20  | 6.40  |
| 6.- A los 3 minutos de soplo agregar segunda mitad de la cal. A partir de los 12 minutos de iniciado el soplo agregar 25% a los 14 minutos, 25% a los 16 minutos 25% y a los 18 minutos los 25% restantes del mineral. | 22.50 | 28.90 |
| 7.- Bascular el convertidor hasta posición horizontal, tomar muestras de escoria y metal, medir temperatura; posicionar ollas para acero y escoria.  | 3.50  | 33.40 |
| 8.- Girar el convertidor a posición de colar.  | 1.20  | 34.60 |
| 9.- Sangrar acero en la olla. Agregar ferroligas.  | 2.60  | 37.20 |
| 10.-Invertir convertidor para vaciar escoria.  | 2.00  | 39.20 |
| 11.-Varios y demoras.  | 5.80  | 45.00 |

Seguimos ahora con la exposición de los datos y factores técnicos en el proceso L.W.S. (Loire/Wendel-Sidelor/Sprunck), de manera sistemática similar al proceso anterior. (57)

### I Proceso Metalúrgico L.W.S.

1.1.- Decarburización o equilibrio carbono-oxígeno: El proceso de decarburización en este proceso es mejor debido al contacto directo entre el metal y el oxígeno.

1.2.- Cantidad de escoria:

Cantidad de escoria máxima: 85 kg/ton.

Consistencia de la escoria: Poco fluida y seca.

Basicidad: 2.8 .

1.3.- Pérdidas de metal en la escoria: Al haber insuflación de oxígeno por el fondo, cambia la constitución de la escoria. Esto se debe a que su grado de oxidación es menor y en consecuencia las pérdidas de metal son menores. Contenido de FeO en la escoria: 14-16%.

1.4.- Pérdidas de metal por vaporizaciones: Una de las ventajas del soplado por el fondo es la disminución de la formación de humos, lo cual disminuye grandemente las pérdidas de metal por vaporizaciones a 1 kg/ton.

1.5.- Calidad del acero.

1.5.1.- Contenido de hidrógeno en el acero: Al emplearse altas concentraciones de oxígeno, se disminuye la concentración de hidrógeno en el acero, pero en este proceso existe una fuente adicional de hidrógeno en el combustóleo que tiene 13.4% H<sub>2</sub>. Contenido de hidrógeno: 0.0025-0.004%.

1.5.2.- Contenido de nitrógeno en el acero: Al disminuir el porcentaje de aire en el soplo, disminuye el contenido de nitrógeno a 0.0025-0.0035%.

1.5.3.- Contenido de azufre en el acero: La desulfurización en este convertidor varía de un 30% a 40% (o sea que el contenido de azufre se reduce en un cierto porcentaje dependiendo de la efectividad del proceso y del contenido inicial de azufre en el arrabio). Hay que considerar el contenido de azufre en el combustóleo.

Contenido de azufre en el acero: 0.02%.

Porcentaje de desulfurización posible: 30-40%.

1.5.4.- Contenido de fósforo en el acero: El contenido final de fósforo se reduce al insuflar por el fondo la cal en polvo junto con el oxígeno.

% P en el arrabio: 1.60%.

% P en el acero : 0.015%.

## II Consumos.

2.1.- Consumo de oxígeno: La reacción del oxígeno con el metal líquido está en función del burbujeo producido con el soplado por el fondo. Por lo tanto, la eficiencia de este proceso hace que los consumos y los tiempos de soplado disminuyan grandemente.

Capacidad del convertidor considerado: 30 ton.

Consumo: 66.0 m<sup>3</sup>/ton.

165.0 m<sup>3</sup>/min.

1980 m<sup>3</sup>.

Presión: 10-12 ATM.

Porcentaje de O<sub>2</sub> utilizado en el soplo: 95-99%.

Agitación del baño durante el soplado: Regular.

Tiempo de soplado: 10-14 min.

Mínimo: 30 min.

Normal: 31-32 min.

Práctica con 2 escorias: 40 min.

2.2.- Consumo de cal: En este tipo de convertidor, se agrega piedra caliza por la boca del convertidor y además se insufla en forma de polvo junto con el oxígeno, el hecho de agregarla a una granulometría fina y de tener un contacto directo con el metal fundido, hace que la reacción sea más efectiva, haya mayor eficiencia y un mejor aprovechamiento de la cal.

Grado de preparación de la cal: Medio y fino.

Cal en piedra: 24 kg/ton.

Cal en polvo : 56 kg/ton.

Cal total : 80 kg/ton.

2.3.- Consumo de gas propano o combustóleo como protector de las toberas: En este proceso se usa combustóleo que al que-

marse protege a la tobera (combustóleo: 85.8% C, 13.4% H y 0.4% S). Consumo de combustóleo: 2.0 kg/ton.

Presión: 10.0 ATM.

Contenido de azufre en el combustóleo y la variación del contenido final de azufre en el acero: Combustóleo (0.4% S y 2.5% S) en el acero (0.0004% S y 0.0025% S).

2.4.- Consumo de nitrógeno para el purgado de las toberas: El nitrógeno se utiliza para protección de las toberas y a veces para la agitación del baño.

Consumo de nitrógeno: 15.0 m<sup>3</sup>/ton.

165.0 m<sup>3</sup>/min.

Presión: 2-12 ATM.

Duración: 30-60 seg.

2.5.- Consumo de refractario: Las paredes y el fondo del convertidor tienen un desgaste diferente. Las paredes tienen mayor duración con respecto al fondo.

Consumo de refractario: 5.0 kg/ton.

Fondo: 400-500 coladas.

Convertidor: 800-1000 coladas.

Tipo de fondo: Intercambiable.

Tipo de refractario: Magnesita o dolomita.

Tiempo de reparación total de:

Fondo completo: 12 hr.

Convertidor: 84-98 hr.

2.6.- Consumo de arrabio, chatarra y mineral o pelets por tonelada de acero: 997 kg.

Kg de arrabio: 103 kg.

Porcentaje en peso de arrabio: 55%.

Porcentaje en peso de chatarra: 40%.

Chatarra a granel: 50-90 kg.

Mineral en polvo: -

Pélet 12-25 mm (pre-reducido): 100 kg máx.

Reacción del pélet en el baño: Incontrolable.

Penetración del pélet en el baño: Regular.

Flotabilidad en la escoria: Regular.



### III Condiciones de operación.

3.1.- Eficiencia del convertidor: Al haber menos formación de humos y menos cantidad de escoria, se puede considerar que hay una disminución de las pérdidas de metal. Eficiencia es de 90%.

3.2.- Disponibilidad del convertidor: Las pérdidas de producción se deben principalmente a los paros ocasionados por los cambios del fondo o reparaciones totales del convertidor. Se tiene la ventaja de que cada tobera tiene un control individual.

3.3.- Operación del sistema de inyección: El sistema neumático es complicado debido al control individual que se tiene para cada tobera. Su operación requiere de un control preciso de muchas variables.

3.4.- Operación del sistema de carga: Esta operación es en función del tonelaje o capacidades de operación.

3.5.- Operación del convertidor: En el proceso LWS es complicada.

3.6.- Operación de la planta de oxígeno: Es igual para todos los procesos y depende de la capacidad instalada.

### IV Instalaciones requeridas.

4.1.- Relación H/D: 1.36 .

Volumen:  $26.1 \text{ m}^3$ .

Capacidad: 30 ton. (ROMBAS).

Volumen específico:  $0.87 \text{ m}^3/\text{ton}$ .

4.2.- Construcción civil y estructural para la instalación de una lanza o de toberas: El edificio no es alto y la cimentación necesaria para la estructura no es muy profunda en comparación con la requerida en un edificio donde se va a instalar un convertidor con una lanza.

4.3.- Instalaciones neumáticas de una lanza o toberas: La instalación de las toberas del convertidor es complicada. Se

requiere un control complicado debido a que se tiene una instalación y un control separado para cada tobera.

4.4.- Instalación de tolvas de carga para adiciones: Se tiene un sistema de carga con tolvas de capacidades pequeñas, debido a que sólo se emplea para las adiciones. Existe la posibilidad de adición de cal en piedra para ciertas ventajas del proceso.

4.5.- Instalación de una planta de cal: Es necesaria la instalación de una planta de cal.

4.6.- Instalaciones de instrumentación y control electrónico: La cantidad de fluidos que se requieren en el proceso, requieren una instrumentación complicada debido a que cada tobera es controlada individualmente, también se requiere de la ayuda de una computadora para el control y el cálculo de las adiciones. Toda la instrumentación es necesaria para un mejor control del proceso.

4.7.- Instalaciones de carga y descarga del convertidor: Las instalaciones mecánicas para la carga y descarga del convertidor sólo dependen de las dimensiones del convertidor y de su capacidad de producción.

4.8.- Instalaciones para el control de la contaminación: Es fácil adaptarlo. Se puede tomar en cuenta que la cantidad de polvos y gases son mucho menores, por lo tanto el equipo anti-contaminante también será de menores dimensiones.

4.9.- Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario: En este tipo de convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor. Para estas reparaciones se requiere de equipo especial para desmontar el fondo y también para la reparación interna del convertidor.

#### V Factores intangibles.

5.1.- Disponibilidad de la materia prima: Debido a las características del proceso LWS, se tiene que si se dispone del

suficiente arrabio, se tiene una cierta deficiencia de chata--rra debido a la alta capacidad de fundición del convertidor, pe--ro se tiene la desventaja de no poder usar pelets en grandes cantidades; pero también existe la necesidad de una planta de cal y de combustóleo. De las cuales es necesario hacer las ins--talaciones necesarias para su utilización.

5.2.- Número de unidades en operación: Nueve convertido--res LWS en el mundo, desde 1967 a 1974.

5.3.- Capacidad instalada: 1.99 millones de toneladas.

5.4.- Capacidad mínima y máxima del convertidor: Se refie--re al tamaño y capacidad del convertidor instalado, en este ca--so es de 25-65 toneladas.

5.5.- Experiencia y aceptación del proceso: La experien--cia de operación en instalaciones industriales es de 4 años, y la antigüedad del proceso LWS es desde 1970. En México, toda--vía no existe experiencia en este proceso.

En este Convertidor (58) se emplea la inyección de oxíge--no por el fondo, mediante toberas con instalación individual de oxígeno y combustóleo, es segura esta instalación, pero to--do escape de combustóleo que pueda presentarse es fácilmente visible y carece de gravedad. El combustóleo al ser inyectado por el tubo externo de las toberas, las protege de un calenta--miento excesivo debido a la gran cantidad de calor que se pro--duce por la reacción exotérmica de oxidación de las impurezas del metal líquido.

El combustóleo se quema en el momento de salir por la pun--ta de la tobera; se podría pensar que al quemarse se produci--ría un calentamiento y no un efecto refrigerante, pero sucede lo contrario; por lo que la energía que necesita para quemarse la toma del metal que está en contacto con la punta de la tobe--ra protegiéndola por el efecto endotérmico resultante.

El tiempo de soplado es de 8-12 min. y la duración del

proceso es de 30-40 min. La eficiencia metálica del convertidor es de 90-96% y se debe a que hay menos pérdidas de metal en forma de humos y en la escoria. El sistema neumático es complicado debido a que el convertidor tiene un control individual en cada tobera y se requiere mucha instrumentación para el control de las variables del proceso. En general, la operación del convertidor LWS es complicada.

Continuamos ahora nuestro estudio con los datos y factores técnicos del proceso O.B.M. (Oxygen Bodenblasen Maxhütte u Oxygen Bottom-Blown Maxhütte).

I Proceso Metalúrgico O.B.M. (Cf.57)

1.1.- Decarburización o equilibrio carbono-oxígeno: El proceso de decarburización es mejor en este proceso debido al contacto directo entre el metal y el oxígeno.

1.2.- Cantidad de escoria:

Cantidad de escoria máxima: 70 kg/ton.

Consistencia de la escoria: Seca y dura.

Basicidad: 2.5 .

1.3.- Pérdidas de metal en la escoria: Al haber insuflación de oxígeno por el fondo, cambia la constitución de la escoria. Esto se debe a que su grado de oxidación es menor y en consecuencia las pérdidas de metal son menores.

Contenido de FeO en la escoria: 13-17%.

1.4.- Pérdidas de metal por vaporizaciones: En este proceso hay una disminución de las pérdidas de metal por vaporizaciones. Sin embargo, existe un chisporroteo que ocasiona pérdidas de metal en forma de incrustaciones en la boca del convertidor y su limpieza requiere hasta 12 hr.

Pérdidas de metal por vaporizaciones: 3 kg/ton.

1.5.- Calidad del acero.

1.5.1.- Contenido de hidrógeno en el acero: En el proceso OBM se emplean grandes concentraciones de oxígeno, así que; la concentración de hidrógeno en el acero es muy baja: 0.0004% máx.

1.5.2.- Contenido de nitrógeno en el acero: En el soplo se emplea oxígeno de alta pureza, por lo tanto, la concentración de nitrógeno en el acero disminuye. Por lo que se tiene: 0.0010-0.0025%.

1.5.3.- Contenido de azufre en el acero: La desulfurización en este convertidor alcanza valores aceptables.  
Contenido de azufre en el acero: 0.01%.  
Porcentaje de desulfurización posible: 30-50%.

1.5.4.- Contenido de fósforo en el acero: En este proceso el contenido de fósforo alcanza valores aceptables debido al sistema de soplado de cal en polvo y de oxígeno de alta pureza por el fondo.  
Porcentaje de P en el arrabio: 0.220%.  
Porcentaje de P en el acero : 0.012%.

## II Consumos.

2.1.- Consumo de oxígeno: La reacción del oxígeno con el metal líquido está en función del burbujeo producido con el soplado por el fondo. Por lo tanto, la eficiencia de este proceso hace que los consumos y los tiempos de soplado disminuyan grandemente.

Capacidad del convertidor considerado: 170 ton.

Consumo: 65.0 m<sup>3</sup>/ton.

91.6 m<sup>3</sup>/min.

1100.0 m<sup>3</sup> .

Presión: 10-12 ATM.

Porcentaje de O<sub>2</sub> utilizado en el soplo: 98-99%.

Agitación del baño durante el soplado: Buena.

Tiempo de soplado: 10-14 min.

Mínimo: 10 min.

Promedio normal: 12 min.

Tiempo total del proceso:

Mínimo: 30 min.

Normal: 35-36 min.

Práctica con dos escorias: 40 min.

2.2.- Consumo de cal: La adición de cal se hace en forma

neumática junto con el oxígeno y se recomienda el uso de cal en polvo con una granulometría donde el 90% de las partículas de cal tengan menos de 0.1 mm. La consistencia de la escoria formada es menos fluida, sobre todo menos reactiva y perjudicial para el refractario.

Grado de preparación de la cal: Fino.

Cal en piedra: -

Cal en polvo: 65 kg/ton.

Cal total: 65 kg/ton.

2.3.- Consumo de gas propano o combustóleo como protector de las toberas: En este convertidor se utiliza gas propano a alta presión, por los tubos exteriores de cada tobera, los cuales quedan protegidos al quemarse este gas a la salida de la punta de la tobera. Se ha utilizado gas propano con muy buenos resultados. Pudiéndose considerar que el gas propano que se consume es un 3-5% del consumo de oxígeno.

Consumo de gas propano: 5.1 kg/ton.

0.5 m<sup>3</sup>/min.

Presión: 6.0 ATM.

2.4.- Consumo de nitrógeno para el purgado de las toberas: El nitrógeno se utiliza para proteger las toberas y se considera que su consumo es de 8.2-11.0% del consumo de oxígeno.

Consumo de nitrógeno: 5.3 m<sup>3</sup>/ton.

58.3 m<sup>3</sup>/min.

Presión: 2-12 ATM.

Duración: 30-60 seg.

2.5.- Consumo de refractario: Las paredes y el fondo del convertidor tienen un desgaste diferente. Las paredes tienen mayor duración con respecto al fondo.

Consumo del refractario: 4.5 kg/ton.

Fondo: 400-500 coladas.

Convertidor: 800-1000 coladas.

Tipo de fondo: Intercambiable.

Tipo de refractario: Magnesita.

Tiempo de reparación total del:

Fondo completo: 16-24 hr.

Convertidor: 92 hr.

2.6.- Consumo de arrabio, chatarra y mineral o pellets por tonelada de acero: 888 kg.

Porcentaje en peso de arrabio: 45%.

Kg de arrabio: 222 kg.

Porcentaje en peso de chatarra: 50%.

Chatarra a granel: 20 kg.

Mineral en polvo: 80 kg.

Pélet 12-25 mm (pre-reducido): 100 kg máx.

Reacción del pélet en el baño: Incontrolable.

Penetración del pélet en el baño: Poca.

Flotabilidad en la escoria: Alta.

### III Condiciones de operación.

3.1.- Eficiencia del convertidor: En el proceso OEM aumenta la eficiencia porque disminuye la cantidad de pérdidas de metal en la escoria y en forma de polvos. Aquí no se han tomado en cuenta las pérdidas de metal en forma de salpicaduras en la boca del convertidor debido a que no se tienen aún datos disponibles. Pero la eficiencia corresponde al 90-93%.

3.2.- Disponibilidad del convertidor: Las pérdidas de producción se deben principalmente a las reparaciones del fondo, y se tiene la desventaja de que en cualquier problema con las toberas, es necesario el cambio total del fondo.

3.3.- Operación del sistema de inyección: El sistema de inyección es complicado debido a que dentro de una misma línea pasan varios fluidos y el control de su operación requiere mucha instrumentación.

3.4.- Operación del sistema de carga: Es el mismo para todos los procesos y únicamente dependería del tonelaje o capacidades de operación.

3.5.- Operación del convertidor: En el proceso OBM es complicada.

3.6.- Operación de la planta de oxígeno: Es igual para todos los procesos y depende de la capacidad instalada.

#### IV Instalaciones requeridas.

4.1.- Relación H/D: 1.18.

Volumen:  $174.5 \text{ m}^3$ .

Capacidad: 210 ton (SALZGITTER).

Volumen específico:  $0.83 \text{ m}^3/\text{ton}$ .

4.2.- Construcción civil y estructural para la instalación de una lanza o de toberas: El edificio no es alto y la cimentación necesaria para la estructura no es muy profunda en comparación con la requerida en un edificio donde se va a instalar un convertidor con una lanza.

4.3.- Instalaciones neumáticas de una lanza o toberas: La instalación neumática en este convertidor es complicada debido a los diferentes fluidos que se emplean en el convertidor, pero la ventaja es que sólo existe un control maestro para todas las toberas del fondo.

4.4.- Instalación de tolvas de carga para adiciones: Las instalaciones son mínimas y únicamente se emplean para las adiciones.

4.5.- Instalación de una planta de cál: Es necesaria la instalación de una planta de cal.

4.6.- Instalaciones de instrumentación y control electrónico: El convertidor OBM requiere de la ayuda de una computadora para un mayor control y rapidez del proceso. La instrumentación para el control de los fluidos necesarios para el proceso es complicada, pero ésta ayuda a que se obtenga una eficiencia mucho mayor del proceso.

4.7.- Instalación de carga y descarga del convertidor: Las instalaciones mecánicas son las mismas que se requieren para



cualquier tipo de convertidor y sólo dependen del proceso en sí y de su capacidad de producción.

4.8.- Instalaciones para el control de la contaminación: Es fácil adaptarlo, se puede tomar en cuenta que la cantidad de polvos y gases son mucho menores, por lo tanto el equipo anticontaminante también será de menores dimensiones.

4.9.- Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario: En este tipo de convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor. Para estas reparaciones se requiere de equipo especial para desmontar el fondo y también para la reparación interna del convertidor.

#### V Factores intangibles.

5.1.- Disponibilidad de la materia prima: Este tipo de convertidor requiere de grandes cantidades de chatarra, de la cual sólo disponemos de una cantidad limitada. La utilización de pélet es limitada y ésta es una desventaja para México; se requiere la instalación de una planta de cal y de una línea con gas propano.

5.2.- Número de unidades en operación: 45 convertidores en el mundo, de diciembre de 1967 a junio de 1974.

5.3.- Capacidad instalada: 17.4 millones de toneladas.

5.4.- Capacidad mínima y máxima del convertidor: 5-240 ton.

5.5.- Experiencia y aceptación del proceso: La experiencia de operación del proceso OBM en instalaciones industriales es de 6 años. La antigüedad del proceso es desde 1967. En México, no se tiene todavía experiencia sobre este proceso.

---

En lo que respecta al Proceso Q-BOP (Quiet or Quick Basic Oxygen Process) podemos decir lo siguiente: (Cf.51)  
Con el insuflado por el fondo se observó que había un aumento en la capacidad de fundición de chatarra y que pedacería de 710

X 965 X 890 mm con un peso de 4 850 kg, se fundía completamente después de 10 minutos de soplo.

Dentro de los aspectos metalúrgicos, podemos mencionar los datos experimentales siguientes: El fósforo puede ser eliminado hasta niveles bajos en aceros con 0.05%C. Controlando la temperatura y la inyección de cal se puede obtener concentraciones de 0.005%P en el acero usando arrabio con 0.203%P. La posibilidad de insuflar cal en polvo al acero líquido aumenta la desulfurización, pero haciendo ciertas modificaciones en las prácticas de insuflado de cal es posible lograr 0.07%S partiendo de un arrabio con 0.2%S. Es importante mencionar que todo el arrabio es descorificado antes de ser vaciado al convertidor.

La escoria es de consistencia seca y poco fluida con un contenido de 13-17% FeO y una basicidad de 3-3.5. El contenido de nitrógeno en el acero es de aproximadamente 0.0010-0.0030%, y el contenido de hidrógeno en el acero es de aproximadamente de 0.00176-0.00325%; se ha logrado disminuir el contenido de hidrógeno aún más, purgando el acero con nitrógeno en el momento de inclinar el convertidor.

Datos de operación de Gary Works: (59) Después de haber experimentado con un convertidor de 30 toneladas, se construyó un convertidor de 200 ton. en Gary y éstos son algunos de los resultados obtenidos: (Cf.51)

El contenido de nitrógeno en el acero es de aproximadamente 0.003-0.005%, hay mayores contenidos de Mn en el acero; que indica una recuperación de 0.10 a 0.15% de Mn (en comparación con el proceso BOF). Además se ha observado un ahorro de 0.34 kg de aluminio por tonelada de acero.

El consumo promedio de cal en polvo es de 70 a 77 kg por tonelada de acero. En Gary Work No. 1 hay un consumo en los BOF de 92 kg/ton. Los tiempos de colada a colada son de 31 a 41 min. y es posible emplear pedacería de chatarra pesada de hasta 5 y 25 ton., y el contenido de azufre en el arrabio usado fue de 0.057%S. Los resultados de la defosforización fueron excelentes: Para coladas con 0.10%C el 90% de las coladas con-

tenían 0.010%P. De 0.11 a 0.30%C el 47% de las coladas contenían 0.010%P. En 0.31-0.50%C el 96.5% de las coladas contenían 0.020%P.

c ) Interpretación Comparativa de los Procesos de Acera-  
ción al Oxígeno.

En el siguiente estudio comparativo (60) el número 1 representa la alternativa con las características o con valores óptimos cercanos a lo deseado y el número 3 para la alternativa que más se aleja de lo deseado. Este sistema de evaluación es recomendable hacerlo en la comparación de procesos, donde intervienen una gran cantidad de variables o parámetros técnicos, siendo necesario aislar cada uno de ellos y seleccionar el proceso más adecuado tomando como comparación exclusivamente una sola variable. Para la asignación de esta prioridad de selección es necesario considerar los valores numéricos y preguntarse que proceso se escogería primero, cual en segundo término y por último cual en tercer lugar.

Es importante hacer notar, que utilizando este sistema, no hay límite de alternativas factibles de comparar, pero analizando en detalle cada parámetro de los procesos, se puede llegar a una conclusión satisfactoria. El éxito de esta evaluación depende de los criterios empleados en la asignación de prioridad.

El método más adecuado para evaluar las prioridades es estableciendo: La gravedad, la urgencia y la tendencia. La primera consiste en la importancia de la variable considerada en el proceso. La segunda, consiste en la necesidad de obtener resultados deseados; y finalmente, la tendencia es la posibilidad de lograrlos.

A cada uno de estos factores, se les puede asignar un valor numérico, que multiplicados entre sí, da un criterio para asignar una prioridad de selección de: 1, 2 ó 3 a cada variable. Este método no es el único que existe, pero para esta evaluación, es uno de los apropiados.

| I     | <u>PROCESO METALURGICO</u>   | <u>BOF</u> | <u>LWS</u> | <u>OEM</u> |
|-------|--|------------|------------|------------|
| 1.1   | Decarburización o equilibrio<br>carbono - oxígeno.....                     | 3          | 2          | 1          |
| 1.2   | Cantidad y consistencia de la escoria.                                     | 3          | 2          | 1          |
| 1.3   | Pérdidas de metal en la escoria.....                                       | 3          | 2          | 1          |
| 1.4   | Pérdidas de metal por vaporizaciones..                                     | 3          | 1          | 2          |
| 1.5   | Calidad del acero:   |            |            |            |
| 1.5.1 | Contenido de hidrógeno en el acero....                                     | 3          | 2          | 1          |
| 1.5.2 | Contenido de nitrógeno en el acero....                                     | 3          | 2          | 1          |
| 1.5.3 | Contenido de azufre en el acero.....                                       | 3          | 2          | 1          |
| 1.5.4 | Contenido de fósforo en el acero.....                                      | 3          | 2          | 1          |
| II    | <u>CONSUMOS</u>  |            |            |            |
| 2.1   | Consumo de oxígeno.....  | 1          | 3          | 2          |
| 2.2   | Consumo de cal.....  | 3          | 2          | 1          |
| 2.3   | Consumo de gas propano o combustóleo<br>como protector de las toberas..... | 1          | 3          | 2          |
| 2.4   | Consumo de nitrógeno para el purgado<br>de las toberas.....                | 1          | 3          | 2          |
| 2.5   | Consumo de refractario.....  | 3          | 2          | 1          |
| 2.6   | Consumo de arrabio, chatarra y mineral<br>o pèllet.....                    | 3          | 1          | 2          |
| III   | <u>CONDICIONES DE OPERACION</u>  |            |            |            |
| 3.1   | Eficiencia del convertidor.....  | 3          | 2          | 1          |
| 3.2   | Disponibilidad del convertidor.....  | 1          | 2          | 3          |
| 3.3   | Operación del sistema de inyección....                                     | 1          | 3          | 2          |
| 3.4   | Operación del sistema de carga.....  | -          | -          | -          |
| 3.5   | Operación del convertidor.....   | 1          | 3          | 2          |
| 3.6   | Operación de la planta de oxígeno.....                                     | -          | -          | -          |

| <u>IV INSTALACIONES REQUERIDAS</u> |   | <u>BOF</u> | <u>LWS</u> | <u>OEM</u> |
|------------------------------------|---|------------|------------|------------|
| 4.1                                | Relación Altura-diámetro del convertidor.....                                       | 3          | 2          | 1          |
| 4.2                                | Construcción civil y estructural para la instalación de una lanza o de toberas..... | 3          | 2          | 1          |
| 4.3                                | Instalaciones neumáticas de la lanza o toberas.....                                 | 1          | 3          | 2          |
| 4.4                                | Instalación de tolvas de carga para adiciones.....                                  | 3          | 2          | 1          |
| 4.5                                | Instalación de una planta de cal.....   | 1          | 3          | 2          |
| 4.6                                | Instalaciones de instrumentación y control electrónico.....                         | 1          | 3          | 2          |
| 4.7                                | Instalaciones de carga y descarga del convertidor.....                              | -          | -          | -          |
| 4.8                                | Instalaciones para el control de la contaminación.....                              | 3          | 2          | 1          |
| 4.9                                | Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario.....               | -          | -          | -          |
| <u>V FACTORES INTANGIBLES</u>      |   |            |            |            |
| 5.1                                | Disponibilidad de la materia prima....  | 1          | 2          | 3          |
|                                    | Instalaciones adicionales.....  | 1          | 2          | 3          |
| 5.2                                | Número de plantas en operación.....   | 1          | 3          | 2          |
| 5.3                                | Capacidades instaladas.....   | 1          | 3          | 2          |
| 5.4                                | Capacidad mínima y máxima del convertidor.....                                      | 1          | 3          | 2          |
| 5.5                                | Experiencia y aceptación del proceso..  | 1          | 3          | 2          |

## III.4.- LEY DE LA ACERACION

La paradoja está ahora totalmente establecida, que las mayores abstracciones son las verdaderas armas con las cuales se controla nuestros conceptos de los hechos concretos.

Alfred North Whitehead.

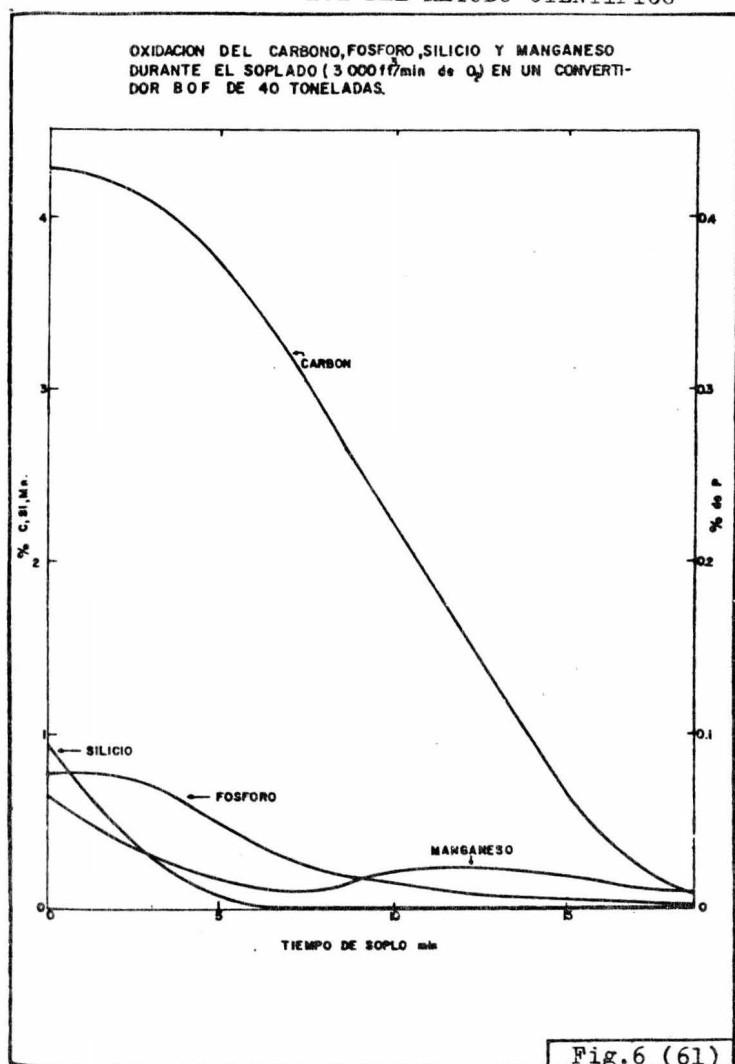
Una vez expuesta la descripción operacional de los procesos de la Refinación del Acero y de su interpretación comparativa, continuamos con la siguiente etapa del Método Científico que está constituida en la Ley.

Como es sabido, las leyes son expresiones asertóricas cualitativas o cuantitativas de relaciones funcionales entre dos o más variables, siendo de validez general y obtenidas experimentalmente para todos los casos similares. En nuestro estudio podemos considerar a la Ley como el conjunto de expresiones afirmativas de resultados experimentales a las reacciones específicas del proceso de refinación del acero al oxígeno.

La mayoría de las reacciones químicas que ocurren durante la refinación son rápidas y la velocidad de refinación es función de los fenómenos de transferencia de masa; principalmente por difusión y convección cuando el oxígeno es soplado sobre la superficie o a través del baño de metal como en el proceso BOF o Q-BOP respectivamente.

Si se examinan los datos de operación típicos del proceso de oxidación de carbono, fósforo, silicio y manganeso, se apreciará que las curvas del carbono, silicio y fósforo tienen la misma forma. Sin embargo, hay una gran diferencia en la curva de oxidación del manganeso. (Fig.6)

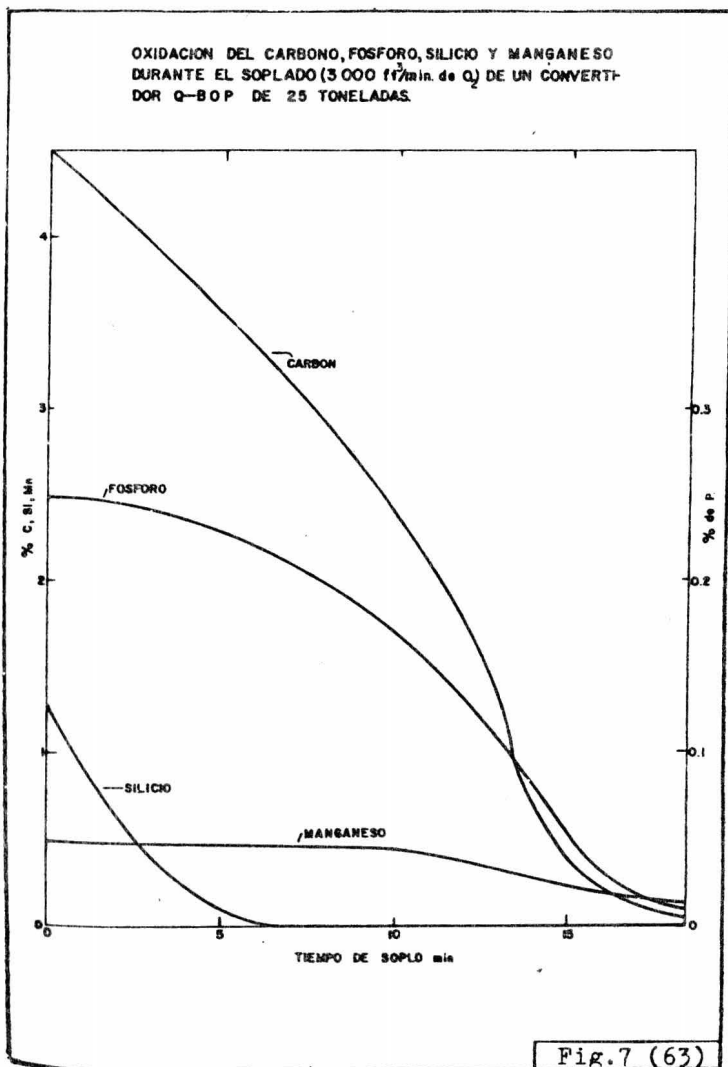
En el proceso Q-BOP con cal insuflada por el fondo es mínima la oxidación del manganeso, hasta el momento en que la mayor parte del silicio ha sido eliminado. Para el caso del proceso BOF con insuflado de oxígeno sobre la superficie del metal; el manganeso y el silicio se oxidan juntos; cuando el si-



licio se ha agotado, ocurre una reacción reversible del manganeso, pasando éste de la escoria al metal. (Fig.7) La importancia de esta reacción aumenta cuando se considera el punto de equilibrio sobre el metal y la escoria. (62)

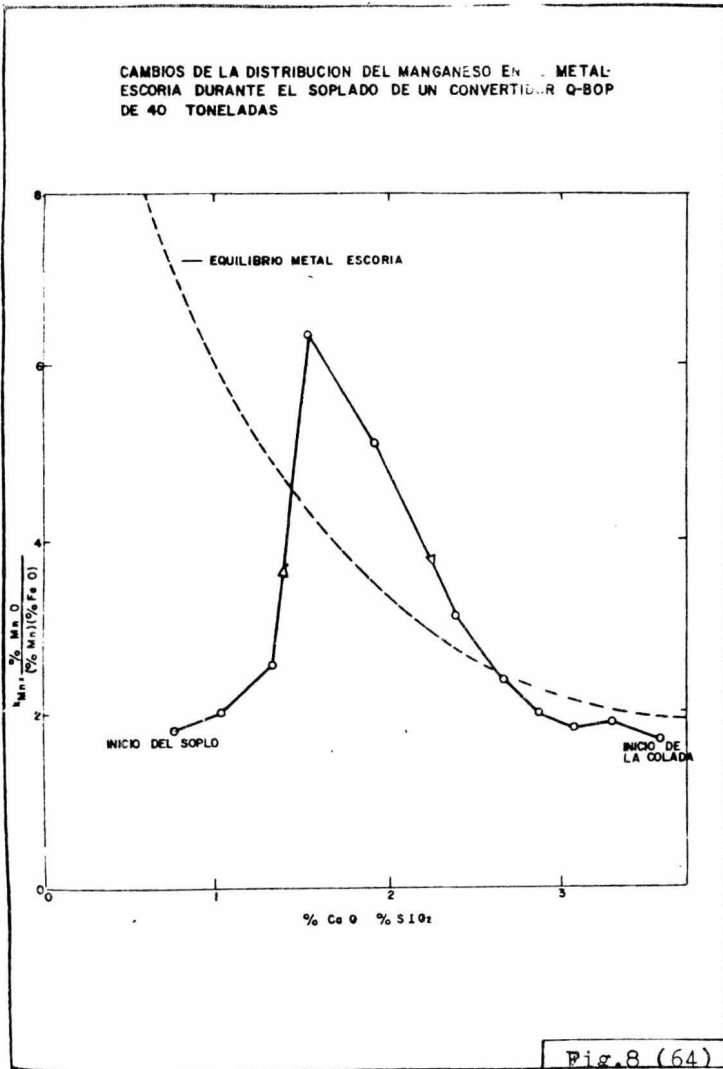
Reacción del Manganeso: La reacción del manganeso se puede representar así:  $Mn + FeO = MnO + Fe^0$ .

Se puede definir a la constante de equilibrio como  $K_{Mn}$ :

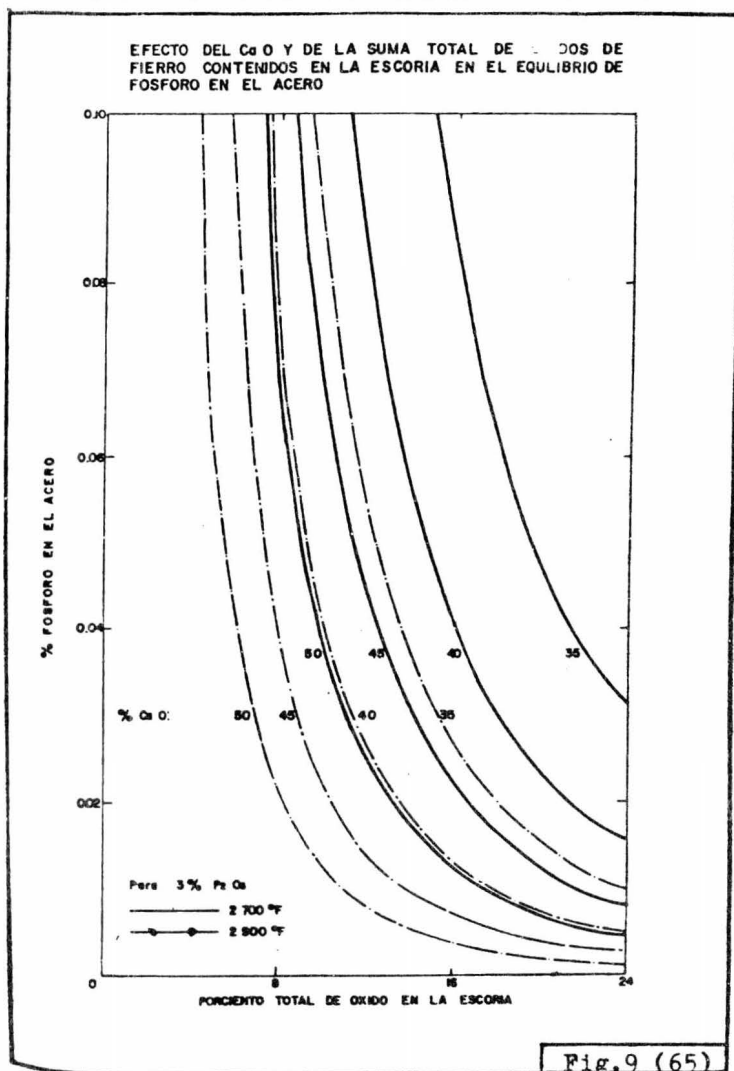


$$K_{Mn} = \frac{(\%MnO)}{(\%Mn)(\%FeO)}$$
 el valor de  $K_{Mn}$  disminuye al aumentar la basicidad de la escoria, que se debe a la variación de los coeficientes de actividad de los óxidos  $Y MnO/Y FeO$ , por la composición de la escoria. Los valores de  $K_{Mn}$  obtenidos de las muestras tomadas de las coladas de un convertidor BOF de 40 ton. y los valores de su basicidad  $\%CaO/\%SiO_2$  están graficados en la Fig.8, donde la curva interrumpida se calculó de los datos obtenidos en el equilibrio Metal-Escoria.



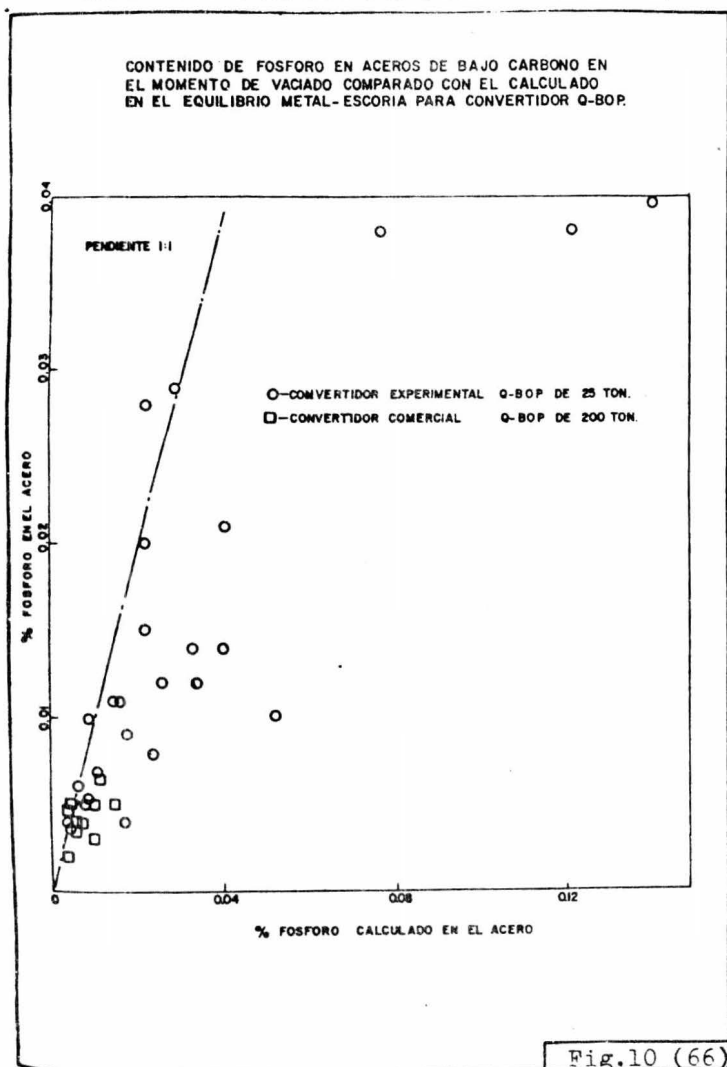


Conviene saber que después de los primeros minutos de soplado, los valores de  $K_{Mn}$  están por arriba de la curva de equilibrio. A medida que la basicidad de la escoria aumenta con la duración del soplado, el valor de  $K_{Mn}$  alcanza el equilibrio metal-escoria; los valores de  $K_{Mn}$  arriba de la curva de equilibrio nos indican que durante la eliminación del silicio al inicio del soplado, el manganeso es oxidado a niveles abajo del e



equilibrio metal-escoria. Este comportamiento no se tiene cuando el oxígeno y la cal son inyectados por el fondo del convertidor, como es el caso de los procesos LWS, OBM y Q-BOP; en donde el manganeso permanece sin cambio alguno y por arriba de los valores de equilibrio durante la mitad del tiempo de refinación.

Reacción del Fósforo: En la defosforización del acero, la oxidación y la transferencia del fósforo del metal a la esco--



ria está representado por:  $2P_{\text{metal}} + 5FeO_{\text{escoria}} = P_2O_5 + 5Fe_{\text{metal}}^0$

$K_p = \frac{(\%P_2O_5)}{(\%P)^2 (\%Fe)^5}$ , donde el porcentaje del hierro es el total de óxidos de hierro en la escoria (excluyendo el hierro metálico). Después de varias investigaciones sobre esta reacción, se encontró que en un tipo tan complejo de escoria como la obtenida en la refinación del acero, el valor de  $K_p$  se incrementa al disminuir la temperatura.

tura e incrementar el contenido de cal en la escoria. El equilibrio metal-escoria del fósforo se puede representar por la siguiente expresión empírica:

$$\text{Log } K_p = 10.78 \log (\% \text{CaO}) - 0.005t - 5.537$$

donde  $t$  es la temperatura en  $^{\circ}\text{F}$ .

Al incrementar la temperatura, la curva de equilibrio se desplaza a contenidos más bajos de fósforo en el metal y a bajos contenidos de óxido en la escoria. Para escorias con diferentes contenidos de fósforo en el equilibrio, la concentración de fósforo en el acero, se puede calcular directamente de la gráfica (Fig.9) aplicando el siguiente factor de ajuste para cualquier contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$ :

$$(\% \text{P}) = (\% \text{P para } 3\% \text{ P}_2\text{O}_5) \left( \frac{\% \text{P}_2\text{O}_5}{3} \right)^{1/2}$$

Se hicieron estudios en Hornos de Hogar Abierto y en convertidores BOF, donde el contenido de fósforo en el acero, en el momento de colar es cercano al que se obtiene de la composición en el equilibrio metal-escoria. Para eliminar o mejor; determinar el contenido de fósforo en el acero en el proceso Q-BOP, se toman muestras de escoria y se puede apreciar en la (Fig.10) una gráfica en donde están los resultados del equilibrio metal-escoria y de los contenidos reales en el acero de dos convertidores, uno experimental de 25 ton. y otro de 200 ton. comercial.

Es importante saber, que en la mayoría de los casos, el contenido de fósforo en el acero es menor que el valor obtenido en el equilibrio. En cuanto al contenido de óxidos de hierro en la escoria obtenida en un convertidor Q-BOP, es en proporción de un 0.33 a 0.50 de la escoria obtenida en el proceso BOF. A pesar de esta diferencia, los niveles alcanzables de fósforo en el convertidor Q-BOP son más bajos a los obtenidos en convertidores BOF, para escorias de casi la misma composición y para aceros del mismo tipo.

Estas observaciones nos dan una idea del porqué la composición de la escoria obtenida en el BOF, afecta la refinación del arrabio. En el proceso Q-BOP con inyección de cal por el fondo,

las reacciones ocurren preferentemente en la corriente de gas, de modo que la escoria formada tiene menor efecto sobre las reacciones.

Reacciones del Carbono, Nitrógeno e Hidrógeno: De resultados experimentales, se ha obtenido lo siguiente: durante el purgado con gas inerte se obtiene una ligera desnitrogenación y deshidrogenación.

En un convertidor Q-BOP de 200 ton. se puede obtener la siguiente expresión para el cálculo del tiempo necesario requerido durante el purgado con argón para eliminar oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, con un gasto de 14000 pies<sup>3</sup>/min. de argón.

$$\text{Para más de 0.3\% C: } \text{Log} \frac{(\%N)_t}{(\%N)_0} = -0.27t$$

$$\text{Para menos de 0.2\% C: } \text{Log} \frac{(\%N)_t}{(\%N)_0} = -1.16 (\%C)t$$

Con cualquier contenido de carbón:

$$\frac{1}{(\text{ppm H})_0} - \frac{1}{(\text{ppm H})_t} = -0.22t$$

$$\text{Para más de 0.05\% C: } \text{Log} \frac{(\%O)_t}{(\%O)_0} = -27t$$

donde  $\underline{0}$  y  $\underline{t}$  indican las concentraciones del soluto al principio y al final del purgado con argón en un tiempo  $t$  en minutos.

Durante el soplado de oxígeno al convertidor hay una rápida reacción con el carbono del baño para formar el CO y CO<sub>2</sub>.

(67)

## III.5.- TEORIA DE LA REFINACION.



Y así debe ser siempre;  
el gran investigador será  
siempre el teórico habitual.

John Tyndall.

## QUIMICA

La siguiente fase en nuestra elaboración metodológica está representada por la teoría, que no es otra cosa más que la explicación de la ley, de la posible o posibles interpretaciones de la misma. Y entrando en materia: se han verificado numerosos estudios sobre los fenómenos de transferencia de masa de los procesos de fusión y refinación de arrabio; sin embargo, existe aún mucho que investigar para entender cuales son los mecanismos de reacción durante la refinación del arrabio con insuflado de oxígeno.

En nuestro caso, las explicaciones posibles al conjunto de reacciones que integran la Ley, se manifiestan en los mecanismos de dichas reacciones. A saber, por las Etapas siguientes: (68)

- I. La vaporización de elementos o de sus óxidos acelerada por la oxidación de los vapores en una atmósfera oxidante de la corriente de oxígeno.
- II. La reacción del metal o escoria con las partículas producidas durante la reacción en la fase gas-vapor.
- III. La reacción de la fase escoria-metal-gas, en la capa de emulsión de escoria.

Una vez planteadas las Etapas de los mecanismos de reacción para la refinación del arrabio con insuflado de oxígeno, es importante hacer mención de que uno de los factores que tal vez influyen en el mecanismo de reacción es: la producción de humos y polvos de óxidos de fierro.

En el proceso BOF se produce una gran cantidad de humos después de la decarburización.

Casi al final del soplado. En cambio, en los procesos LWS, OBM y Q-BOP, con inyección de oxígeno por el fondo; se producen humos durante todo el tiempo de soplado, iniciándose después de haber eliminado el silicio. Cuando el arrabio se calienta en una atmósfera oxidante, hay una rápida vaporización y producción de polvo de óxido de hierro; la velocidad de vaporización del hierro inicialmente se incrementa al aumentar la presión parcial del oxígeno, posteriormente se logra una pasivación por la formación de una capa de óxido fundida al usarse oxígeno puro, causando la suspensión total de la vaporización.

El efecto de un gas reactivo sobre la velocidad de vaporización de metal, puede ser considerado como un fenómeno de transporte o contracorriente. Por lo tanto, la velocidad de vaporización de hierro, o cualquier otro metal que reaccione con el oxígeno, debe aumentar linealmente con el incremento de la presión parcial de oxígeno.

Si se incrementara aún más la presión parcial, el flujo de oxígeno hasta la superficie del metal será eventualmente mayor que la contracorriente del vapor de metal, trayendo como consecuencia la oxidación de la superficie del metal y el paro total de la vaporización. Precisamente antes de este paro total, la velocidad de vaporización será cercana al máximo valor de la velocidad de vaporización libre, dada por la ecuación de Langmuir. La validez de esta teoría fue verificada experimentalmente con varios metales líquidos y sólidos. (69)

Como se puede apreciar en los resultados experimentales de la (Fig.11), la velocidad de vaporización del hierro se incrementa linealmente al aumentar la presión parcial hasta obtener un máximo donde la vaporización cesa casi completamente.

Ahora bien, teniendo como causa la intensa agitación del baño, habrá una continua renovación de la superficie del metal expuesta al oxígeno, aún cuando hay una oxidación directa del metal. Durante esta violenta agitación del baño, la difusividad obtenida es de una magnitud mucho mayor a la difusión atómica de cada elemento. Por tanto, la transferencia de masa del metal en la interfase metal-oxígeno es muy grande, al menos a concen-

VELOCIDAD DE VAPORIZACION DEL FIERRO A 1800 °C EN UNA MEZCLA ARGON-OXIGENO SOPLADA SOBRE LA SUPERFICIE DEL METAL A LAS VELOCIDADES INICIADAS.

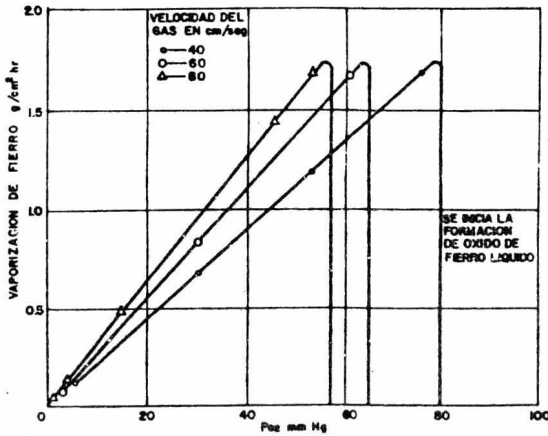
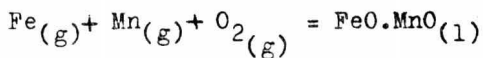
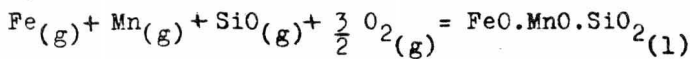


Fig.11 (70)

traciones arriba de 0.05% C. Considerando las reacciones del magnesio y del silicio que ocurren durante la etapa primera del soplado en la zona oxidante de las toberas:



Una reducción posterior del producto resultante de la reacción



en fase gas-vapor con el carbón contenido en el baño de metal, depende de su composición: Si por ejemplo, tenemos el coeficiente de actividad del MnO del producto de la reacción del silicio es menor que el de la escoria de mayor basicidad. Por lo tanto, el manganeso residual en el baño de metal deberá ser menor al correspondiente contenido en el equilibrio del metal-escoria.

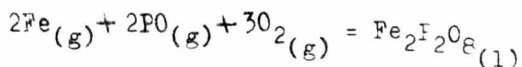
Posteriormente a la eliminación del silicio, ocurre una rápida reversión del manganeso contenido en la escoria y que se aproximará al equilibrio metal-escoria durante los últimos minutos del soplado. (Fig.12) Con el insuflado de cal por el fondo ( LWS, OBM y Q-BOP ) el monóxido de silicio reaccionará preferentemente con la cal, que al reaccionar con el vapor de manganeso obtendremos una mezcla de FeO.MnO.

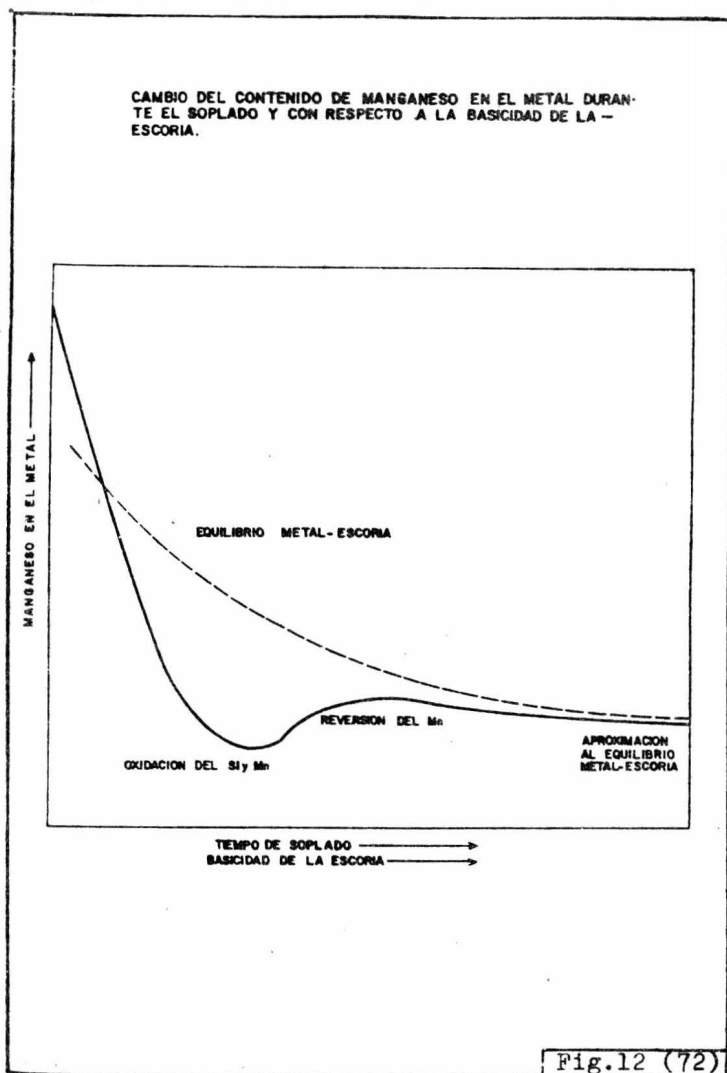
Debido al alto coeficiente de actividad del MnO, será reducido por el carbón del baño, resultando nula la oxidación del manganeso durante toda la refinación del silicio. Después de la eliminación del silicio, la cal podrá reaccionar con los vapores de óxido de hierro, manganeso y fósforo, causando la eliminación del fósforo y algo de manganeso.

La efectividad de la desfosforización en convertidores con insuflado de cal por el fondo puede ser explicada también por el mismo mecanismo de vaporización. Con altos potenciales en el chorro de oxígeno, el fósforo se elimina del metal como PO y PO<sub>2</sub> gaseoso.

El primer paso en la serie de reacciones de desfosforización del acero, está representado por:  $P \cdot xO = PO_x(g)$  siendo  $x = 1$  ó  $2$ , para acero líquido saturado de óxidos de hierro. Siendo el PO<sub>2</sub> la especie más volátil de los óxidos del fósforo. (71)

Cuando el oxígeno es soplado sobre la superficie de un baño de metal con hierro y fósforo, éstos se volatilizan a velocidades muy grandes por reacciones en fase gas-vapor. Por ejemplo, la reacción que sigue ocurre en fase vapor cercana a la interfase gas-metal; En el Proceso BOF:





En el Proceso Q-BOP con la inyección de cal se formará fosfato de calcio en vez del fosfato de fierro alrededor del chorro de oxígeno:  $3\text{CaO}(\text{s}) + 2\text{P}(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8(\text{s ó l})$

Ha de notarse, que reacciones similares suceden durante la vaporización del fósforo en forma de  $\text{P}_2$  ó  $\text{PO}_2$ .

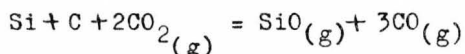
No hay que olvidar que este mecanismo de reacción trae como consecuencia la transferencia de fósforo del metal a fosfato debi-

do a su bajo potencial en atmósferas oxidantes. Puede presentarse una reversión del fósforo debido a que las partículas obtenidas se vuelven a mezclarse con el baño de metal. Cuando se inyecta cal en polvo, el producto de la reacción en fase vapor será fosfato de fierro, el cual sufrirá una reducción al mezclarse con el baño.

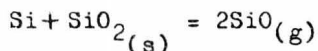
Ahora bien, en el proceso BOF no hay desfosforización durante la decarburización, por lo tanto la reversión del fosfato de calcio hacia el baño será casi nula y tardía. Consecuentemente, este mecanismo nos conduce a una desfosforización hasta niveles mucho menores del equilibrio metal-escoria, como se logran en el proceso Q-BOP.

Considerando el mismo mecanismo de reacción en fase vapor, podemos estudiar el efecto del carbón en el baño sobre la refinación del silicio y fósforo; en virtud del efecto del carbono sobre el equilibrio de las presiones parciales del SiO y  $PO_x$  de la interfase gas-metal del chorro de oxígeno. Y debido a la decarburización continua durante el soplado, el chorro de gas tendrá un alto contenido de CO principalmente y  $CO_2$ .

Se pueden considerar dos reacciones de vaporización del silicio: en forma de SiO, que posteriormente forma un silicato por la siguiente reacción en fase vapor:



Para un arrabio conteniendo 4% C y 0.5% Si a 2 960°F, asumiendo un coeficiente de actividad de un décimo de la saturación en la interfase gas-metal con una presión total de 2 ATM,  $P_{CO}=0.8$  y  $P_{SiO}=1.1$  ATM. Además, otra posible reacción es:

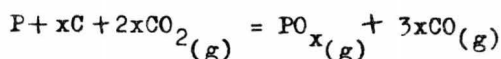


Por lo que en el equilibrio la presión parcial del SiO es de:  $7.1 \times 10^{-4}$  ATM a 960°F. Para arrabio con 4% C y 0.5% Si; viendo esta gran diferencia de presiones obtenidas de estas dos reacciones, parece ser que el contenido de carbono en el baño de metal favorece la eliminación del silicio, por la formación del SiO en la zona oxidante de las toberas.

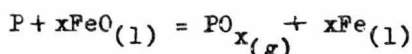
Tal vez es ésta la razón de por qué, en los procesos con insuflado de oxígeno, hay una rápida eliminación de silicio durante los primeros minutos de soplo, que es cuando el contenido de carbono en el baño es alto.

La presión de vapor del fósforo es baja. Por ejemplo a 2 960°F,  $P_2$  es  $1.9 \times 10^{-11}$  ATM, en un arrabio con 0.1%P. Los óxidos volátiles  $PO_x$  tienen una presión mucho mayor bajo condiciones oxidantes.

Las siguientes dos reacciones pueden ser consideradas como posibilidades en la formación del  $PO_x$ :



para un acero conteniendo 1% C y 0.1% P con  $P_{CO_2}/P_{CO} = PO_x$  tiene un valor de  $6.9 \times 10^{-5}$  ATM a 2 960°F y a 2 ATM de presión; por lo tanto para la reacción:



$PO_x$  es  $1.2 \times 10^{-6}$  ATM en la saturación.

Comparando estas reacciones, se deduce que para la eliminación del fósforo en forma de  $PO_x$  será favorecida por la presencia del carbón en el metal. De otra forma, con una reacción metal-escoria, la eliminación del fósforo no se llevaría a cabo con altos contenidos de carbono.

Con referencia a las reacciones anteriores, el coeficiente de actividad del oxígeno que está representado por la relación  $P_{CO_2}/P_{CO}$  sobre la superficie del baño, se incrementará al disminuir el contenido de carbón del baño; que de hecho puede ser mayor que el coeficiente de actividad del oxígeno para el equilibrio fierro-óxido de fierro. Este incremento en la actividad del oxígeno y de la temperatura, causará un aumento de la presión parcial del  $PO_x$  aún cuando el contenido de carbón del baño vaya disminuyendo.

Es importante mencionar que la temperatura del chorro debe ser mayor que la del baño. Consecuentemente, las presiones del  $SiO$  y  $PO_x$  serán mayores que las obtenidas en el ejemplo an

terior. Por tanto, al tenerse una mayor temperatura en la zona de reacción aumentará la desfosforización por este mecanismo.

La eficiencia de la reacción entre el metal y la escoria durante la desfosforización disminuye con el incremento de la temperatura, causando la reversión del fósforo.

Este mecanismo de reacción puede explicar el incremento de la desfosforización en el proceso Q-BOP, con insuflado de cal por el fondo durante el soplado.

Esta descripción un tanto cualitativa o descriptiva del mecanismo de reacción por vaporización o por reacciones en fase gas-vapor; nos da una idea satisfactoria de la efectividad del proceso Q-BOP en la desfosforización, obteniéndose menor oxidación del manganeso y bajos contenidos de óxido de hierro en la escoria. En síntesis: (73)

La Teoría de la Refinación tiene sus fundamentos en las proposiciones de los mecanismos de reacción por vaporización o en fase gas-vapor pueden; estas explicaciones predecir que el insuflado de oxígeno y cal, por el fondo del convertidor (Procesos: LWS, OEM y Q-BOP) tendrán como consecuencias:

- A ) Menor oxidación del manganeso, bajos contenidos de óxido de hierro en la escoria y una alta desfosforización, aún con altos contenidos de carbón.
- B ) También es factible, explicar la oxidación del silicio formando  $\text{SiO}$  volátil, además de la formación de un óxido volátil  $\text{PO}_x$  ayudado por la reacción del  $\text{CO}_2$  con el carbono y fósforo del baño.
- C ) Para la fabricación de acero de bajo carbono, es posible usar una mezcla de gas inerte, oxígeno y gas natural durante el final de la descarburización seguido de un purgado con argón para agotar el oxígeno remanente en el acero, en la última etapa de descarburización.
- D ) Esta modificación en la etapa final del soplado puede incrementar el rendimiento metálico de 1 a 2% como resultado de la disminución de la oxidación del hierro a bajos contenidos de carbono en el acero.

### III.6.- MODELO DE PRIORIDAD OPERACIONAL EN LA OBTENCION DEL ACERO

Las contribuciones que aporta la Investigación Académica a la Ciencia, son el sustento del investigador dedicado a la Ciencia Aplicada.....

Roger Adams.

La culminación de la Investigación Científica y corona de su Metodología es el Modelo. La representación del sistema real que nos ocupa, lo expresamos en el siguiente Modelo útil; puesto que designa las prioridades de las variables que más afectan en el estudio de la Refinación. (74)

Síntesis de toda una Metodología Técnica de la Aceración:

|                                | PRIMER<br>LUGAR | SEGUNDO<br>LUGAR | TERCER<br>LUGAR |
|--------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| PROCESO<br>METALURGICO         | OEM             | LWS              | BOF             |
| CONSUMOS Y<br>EFICIENCIA       | OEM             | BOF              | LWS             |
| FACILIDAD DE<br>OPERACION      | BOF             | OEM              | LWS             |
| ACEPTACION DEL<br>PROCESO      | BOF             | OEM              | LWS             |
| EVALUACION<br>TECNICA<br>FINAL | BOF             | OEM              | LWS             |

I V

INVESTIGACION METODICA  
EN METALURGIA

Modelando la Investigación,  
se modela de alguna manera  
el progreso Técnico del  
porvenir.

Martín Brugarola.

En esta parte de nuestra Investigación abrimos cuatro aspectos complementarios a la Naturaleza del Método Científico y a la elaboración Metodológica de las fases evolutivas de la Refinación del acero. No descuidando por supuesto, la Planeación Experimental y los grados de Certeza y de Incertidumbre en el campo genérico de la Metalurgia.

Así pues, consideramos los siguientes perfiles temático-integrales de este trabajo; con el propósito de poseer un criterio conceptualizado en el marco intelectual y científico de investigación en la Realidad Metalúrgica. Y son a saber:

- I. Corolario del Estudio de la Refinación del Acero.
- II. Teoría del Conocimiento y Metalurgia.
- III. Planeación de un Modelo Experimental en Metalurgia.
- IV. Determinismo e Incertidumbre en la Investigación Científica de la Metalurgia.

IV.1.- COROLARIO DEL ESTUDIO DE LA REFINACION DEL ACERO.

Corolario -como se sabe- es una proposición o proposiciones que son consecuencias inmediatas de otra o de otras. En nuestro estudio de la Refinación del Acero sugerimos, como consecuencias inmediatas, las acertadas proposiciones que nos muestra el Ing. Casas Guzmán en su magnífica tesis profesional.(75)

Del Capítulo anterior, podemos deducir que en general, los procesos de insuflado por el fondo; tienen las siguientes ventajas sobre el proceso BOF.

- 1.- Existe un control mucho más preciso sobre las reacciones de oxidación durante el soplado.
- 2.- Se reducen considerablemente las pérdidas de metal en la escoria.
- 3.- La eficiencia metálica del proceso es superior.
- 4.- La desulfurización y la desfosforización son mucho más efectivas.
- 5.- Los tiempos de soplo son menores.
- 6.- La agitación del baño de metal es más eficiente.
- 7.- La escoria tiene una consistencia seca y dura. Este hecho incrementa el volumen aprovechable del convertidor.
- 8.- Es posible cargar hasta un 35% DE chatarra.
- 9.- La reactividad entre la escoria y el refractario se reduce considerablemente.
- 10.- Hay una menor cantidad de polvos de óxidos de hierro en los humos.
- 11.- El consumo de refractario es menor en las paredes del convertidor.



- 12.- El tener un control más preciso sobre las reacciones de oxidación, reduce apreciablemente el número de coladas que requieren resoplado.
- 13.- La mejor eficiencia del proceso reduce los consumos de ferromanganeso.
- 14.- La misma producción puede alcanzarse con convertidores de menor capacidad.
- 15.- Se eliminan las instalaciones de la lanza y por tanto, se presenta un ahorro considerable en el edificio de aceración.

De igual manera, estos sistemas (insuflado por el fondo) presentan las siguientes desventajas:

- 1.- Cuando se usa arrabio con un alto contenido en fósforo, la concentración de nitrógeno se eleva más allá de los niveles permitidos.
- 2.- Puede haber un mayor consumo de chatarra.
- 3.- Se agregan dentro de los insumos generales, el consumo de gas propano o combustóleo.
- 4.- La cantidad de oxígeno consumida por tonelada de acero aumenta.
- 5.- El sistema neumático de inyección de cal y gases es complejo en cuanto a la operación y al mantenimiento se refiere.
- 6.- La preparación especial de la cal eleva los costos de inversión inicial y de operación.
- 7.- Sólo se cuenta con cuatro años de experiencia en la operación del proceso de inyección por el fondo.
- 8.- La instrumentación para el control del proceso es mayor y más sofisticado.

- 9.- La operación del convertidor es en general más compli cada.
- 10.- La duración de los fondos, incluyendo las toberas, es en la actualidad menor que la vida del refractario del convertidor BOF. Esto reduce la duración de cada cam paña de convertidores.
- 11.- La preparación de los fondos puede requerir de equipo especial y obreros altamente ca lificados.

Como se puede apreciar, algunas de las principales desventajas son debidas a lo novedoso del proceso, y por lo tanto; a la po ca experiencia que hasta ahora se tiene acumulada.

Se encuentra en estudio por parte de las compañías que de sarrollaron el proceso, la posibilidad de usar argón en el pur gado de las toberas, así como la de aumentar la vida promedio de los fondos.

Por lo que respecta al Proceso BOF es conveniente por la facilidad de su operación, amén de ser el más económico.

#### IV.2.- TEORIA DEL CONOCIMIENTO Y METALURGIA.

En la denominación de "Teoría del Conocimiento" con frecu encia se usan indistintamente los términos Gnoseología (gnosis, conocer; logos, tratado) y Epistemología (epísteme, saber; lo- gos, estudio) para referirse a la teoría del conocer. Sin em- bargo, sólo el primero, se refiere a ésta en sentido estricto.

El término epistemología debe reservarse para la crítica de una ciencia en particular, es decir, para referirse a la teoría del conocimiento de la Química, de la Física, de la Ma- temática, etc.

En el ámbito de la teoría del conocimiento, tradicional- mente se ha aceptado la existencia de dos vías para conocer: Vía Sensorial y Vía Intelectiva, la primera consiste en la fun ción de nuestros cinco sentidos y la segunda consiste en la su cesión del pensamiento, la idea, el juicio, el raciocinio, el entendimiento e inteligencia. Es evidente, que primero aparece

una y después la otra. En la etapa sensorial, el sujeto se enfrenta a la realidad con una relación activa: sujeto-objeto que genera conocimiento; y a través de sus sentidos obtiene de los objetos y fenómenos las sensaciones aprendidas.

En la etapa lógica (intelectiva) o de pensamiento científico, las sensaciones aprendidas son analizadas por medio del entendimiento, lo que se conoce por sensación comprendida, cuando interviene la razón.

Esto es muy importante para la formación de conceptos y modelos intelectuales, de tal suerte que si no hubiese una Epistemología Científica, no habría sencillamente la Observación (vía sensorial) ni las Leyes, ni Teorías (vía intelectual) y no se generaría conocimiento científico.

En la Epistemología de la Metalurgia en su dimensión concreta, en el proceso del conocimiento de las propiedades de los minerales, metales; se manifiesta lo que se ha dado en llamar Realismo Invertido como dice Gastón Bachelar; quien se refiere al hecho de que: el estudio no se realiza directamente sobre la realidad, tal como se nos ofrece, pues hay ocasiones; por ejemplo: en que para conocer las propiedades de un compuesto es necesario aislarlo de sus condiciones naturales hasta lograr su purificación y, en otras ocasiones; como en el caso de la Química, incluso, sintetizarlo.

Esto significa, que a la realidad se va después de haber estudiado las propiedades de sus partes en un procedimiento gnoseológico, en el que la separación de éstas, no es simplemente una cuestión formal o una sencilla disección de la Naturaleza. Sino que se trata de la elaboración previa de verdaderos modelos reales, cuyo dominio es insoslayable para abordar con ese criterio la realidad.

Empero, aún cuando este proceso epistemológico es inverso, no debe dejar duda sobre la necesidad de distinguir al modelo de la realidad y que una cosa significa que en el caso de la Química y de la Metalurgia, con frecuencia se usen los modelos y no la realidad directamente; y otra es el hecho de que como modelos no tengan que comprobarse con la realidad, cuando sea

ésta la que sugiera la utilidad del modelo.

Siguiendo con la línea marcada por el Laboratorio de Ciencia Básica (Facultad de Química de la U.N.A.M.) y modelándola a nuestro afán teórico, se tiene que: partiendo de la realidad material circundante en el género metalúrgico. Considerando como principio del proceso epistemológico las variedades mineralógicas; se percibe la existencia del mineral o del metal en su desarrollo operacional en algún procedimiento por vía de Observación (camino sensible epistemológico).

Y por medio del entendimiento (percepción intelectual) tenemos la imagen teórica del fenómeno; llegando así a la etapa de la Modelación en la objetiva realidad.

Aún cuando, la Metalurgia Experimental sea un procedimiento gnoseológico invertido, en cuanto que: estudiamos a la dimensión metalúrgica en otras condiciones que las naturales; como lo es dentro de la casuística de la Metalurgia, el problema de la refinación con el propósito de la aceración.

#### IV.3.- PLANEACION DE UN MODELO EXPERIMENTAL EN METALURGIA

Para tener esta planeación, es indispensable partir de la Realidad Física Metalúrgica (cualquiera dentro del género de la Metalurgia), orientando la dirección hacia la Teoría del Conocimiento (verificando sus etapas: sensible-racional). Para llegar a lo que se ha denominado: Aproximación Física que consiste en el objeto material de la investigación (ejemplo: un convertidor o algún equipo mecánico, etc.).

El paso siguiente es la construcción o elección de un Modelo Matemático apropiado, que podría ser algo tan sencillo: como una ecuación cuadrática, o una ecuación diferencial complicada o bien, una variedad topológica con un grupo de aplicaciones que conserven la medida al actuar sobre ella. (76)

En la siguiente fase, el Ingeniero Químico Metalúrgico comienza a investigar las propiedades del modelo, usando técnicas matemáticas y a contestar determinadas cuestiones que surgen al interpretar la realidad o la aproximación física, de modo que lleguen a ser cuestiones con sentido.

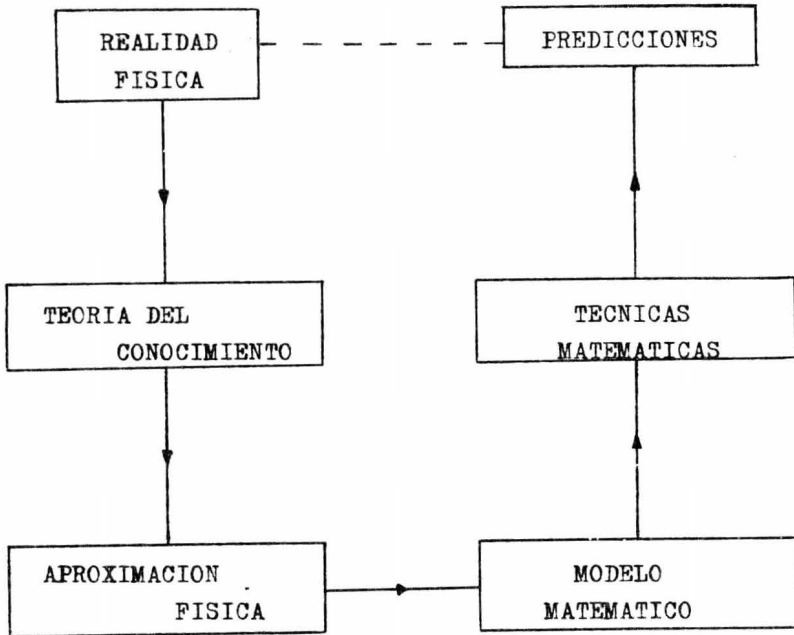


DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LA PLANEACION DE UN MODELO EXPERIMENTAL EN METALURGIA.

En la siguiente etapa, el Ingeniero Químico Metalúrgico comienza a investigar de una manera plausible el Modelo Matemático; en donde, la etapa final, por supuesto es: la comparación de las respuestas anteriores con lo que se conoce de la Realidad Física; a partir de la Observación o del Método Experimental, y la valoración del éxito del modelo y de la exactitud e intuición del metalurgista.

Es muy importante, no confundir el modelo con la realidad en si. Un modelo, es más útil cuanto más se parece a la realidad; pero habrá siempre aspectos de la realidad, que no presente el modelo y predecirá siempre comportamientos que de hecho no ocurren.

La habilidad del Ingeniero está en conocer hasta que punto

y en que contextos puede usar un determinado modelo matemático con la intención de fundamentar científicamente su experimentación, y aplicando lógicamente las reglas metodológicas.

#### IV.4.- DETERMINISMO E INCERTIDUMBRE EN LA INVESTIGACION CIENTIFICA DE LA METALURGIA.

Consideraremos aquí, el concepto determinismo en su acepción de certeza o criterio de verdad (Verdad es la adecuación de la inteligencia con el objeto) e interpretamos el concepto incertidumbre como la no seguridad en el conocimiento. Por consiguiente: la duda metódica aparecerá sobre un determinado problema metalúrgico, donde ocurren muchas teorías con el fin de explicarlo.

Mencionamos únicamente algunos puntos donde existe certeza, en lo que a la Metalurgia se refiere. Considerando además las ciencias, con las cuales, la Metalurgia tiene relaciones.

Decimos que existe un grado de certeza, cuando se tiene y se puede aplicar el modelo matemático en cuestión, en el orden respectivo. Así, podemos hallar un modelo expresado en forma matemática con su validez formal en los casos que a continuación menciono.

\* No se profundiza en ninguno de los casos debido a la naturalidad de este trabajo. Sería prácticamente nulo, abarcar en pleno cada problema en especial; en virtud de lo cual, solamente se hace la lista a manera de índice de la temática casuística de la Metalurgia, de una manera general:\*

- 1.- Determinismo Estadístico:
  - 1.1.- La radiactividad. (77)
- 2.- Determinismo Mecánico:
  - 2.1.- Movimiento de vacancias (Metalurgia Física).
- 3.- Determinismo Cibernético:
  - 3.1.- Calculadores de procesos en la producción y distribución del acero.

## 3.2.- Automatización del acero. (78)

## 4.- Determinismo Fisicoquímico:

## 4.1.- Ecuaciones termodinámicas aplicadas en Metalurgia Física.

5.- Determinismo en Metalurgia:

## 5.1.- Modelos matemáticos en el procesado de metales.

## 5.2.- Modelos matemáticos en deformación uniforme.

## 5.2.1.- En probetas de tracción.

## 5.2.2.- Trefilado de alambre.

## 5.2.3.- Extrusión.

## 5.3.- Modelos matemáticos por el Método de Bloque.

## 5.3.1.- Trefilado con fricción.

5.4.- Modelo Experimental por el Método de Visio-  
plasticidad.

## 5.4.1.- Deformado de piezas.

5.5.- Modelos matemáticos por el Método de Campos  
de Líneas de Deslizamiento.

## 5.5.1.- Compresión plana.

## 5.6.- Modelo de soluciones por Límites.

## 5.6.1.- Límites: Superior e inferior. (79)

5.7.- Propositiones Teóricas y Propositiones  
Experimentales. (80)5.7.1.- Verificación de la Planeación de un  
Modelo Experimental en Metalurgia.

## 5.8.- Cálculo Proposicional asociado a una Teoría.

5.8.1.- Posible aplicación en la Difusión  
Substitucional e Intersticial. (81)5.9.- Diferencia de Estructura entre las Teorías  
Clásicas y las Teorías Microfísicas.

Entendemos por teorías microfísicas aquellas en las cuales existe cierto grado de abstracción y juegos de determinismos (certezas) unas veces; e incertidumbres (dudas metódicas) en otras.

Cuando se abandona el punto de vista fenoménico, para adoptar una teoría causal (no hay efecto sin causa) parece a primera vista que se vuelve a una estructura clásica. Pero no es así; y la diferencia se señala por la distinción entre las proposiciones iniciales y las proposiciones experimentales.

Por un lado, está el álgebra de proposiciones y por el otro están las relativas a la probabilidad.

\*Se puede aplicar esto al nivel de la Metalurgia Mecánica. (82)

#### 6.- Incertidumbre en Metalurgia.

6.1.- Modelos Reológicos y ecuaciones empíricas.

6.2.- Fatiga. Sus posibles explicaciones son:

6.2.1.- Efecto Bauschinger.

6.2.2.- Teoría de Orowan.

6.2.3.- Teoría de Wood.

6.2.4.- Modelos de dislocaciones.

6.2.5.- Mecanismo de Mott.

6.2.6.- Mecanismo de Fisher.

6.3.- Fractura. Sus posibles explicaciones son:

6.3.1.- Criterio de Griffith.

6.3.2.- Criterio de Griffith-Orowan.

6.3.3.- Mecanismo de Zener.

6.3.4.- Mecanismo de Cottrell.

6.3.5.- Mecanismo de los bordes de grano.

6.3.6.- Mecanismo de esfuerzos cortantes.

6.3.7.- Mecanismo de esfuerzos de tracción.

6.4.- Creep logarítmico. Sus posibles explicaciones:

6.4.1.- Teoría del endurecimiento por deformación.

6.4.2.- Teoría del agotamiento de dislocaciones.



\* Como se puede apreciar, para explicar un mismo fenómeno, existen varias teorías, criterios y mecanismos. Por esto decimos, que en la casuística enumerada radica el dominio de la incertidumbre; porque son desconocidos: los orígenes y las causas de esos casos.\*

7.- **Carácter relativo del determinismo y de la incertidumbre:** Estas dos concepciones, no son caracteres absolutos de una teoría científica, sino que son relativos al tipo de descripción adoptada; se puede pasar de uno al otro, sin modificar la adecuación. (tránsito de la duda a la certeza).

8.- **Modelos incompletos, complementareidad e incertidumbre:** Se tienen modelos incompletos, y más aún; faltan modelos en el estudio de la Ingeniería Metalúrgica en cuanto a: la transferencia de calor en hornos. (83)

Se tienen modelos de complementareidad en la interacción de las tres Metalurgias Fundamentales: Física, Extractiva y Adaptativa; porque lo que le falta a una la contiene la otra u otras.

En cuanto a los modelos de incertidumbre, hay varios casos en la Metalurgia Mecánica a nivel de Micro-teorías.

Hace falta y es necesaria, bastante investigación en la Metalurgia Pura o Teórica, como punto de partida (de fuente formal) con el objeto de ser el fundamento sólido de la Metalurgia Experimental.

La Educación, en su realidad: es una operación, producto de arte; dando a ésta palabra el significado de facultad para crear lo verdadero con reflexión.

La Educación es acción y es el resultado de esa acción.

En toda Educación es imprescindible contar con la formación y acción de un contenido cultural a lo largo del desarrollo del individuo.

Víctor García Hoz.

#### V.1.- CONCLUSIONES GENERALES.

Hemos dicho, al principio de esta elaboración, que la interpretación lógica constituye la parte más difícil y delicada de la Metodología de la Investigación Científica. Después de todo, la inteligencia humana tiene frecuentes fallas cuando trabaja sin vigilancia crítica. No siempre se somete al modo de ser de las cosas, no logra espontáneamente una adecuación a ellas, tiene sus exigencias propias, que deben ser enunciadas y corregidas, quiere explicaciones a toda costa; y es ya bien sabido: que hasta en el pensamiento de mayor dignidad científica, el afán explicativo ha perjudicado al seguro conocimiento; pasando por encima de una minuciosa aprehensión de los hechos, de una descripción completa y veraz, que es imprescindible su-

puesto para cualquier explicación válida y de otro lado, la urgencia explicativa nos presenta como plausibles explicaciones que de ninguna manera lo son.

Una enérgica tendencia de nuestra mente a la unificación, a la simplificación, que nos proporciona una falaz claridad intelectual y una posibilidad de manejar con comodidad hechos y nociones; se traduce en dos resultados opuestos pero movidos por el mismo resorte simplificativo: la falsa identificación y la falsa oposición. Nuestra inteligencia identifica de continuo construye paradigmas con que substituye la diversidad riquísima de la experiencia. (84)

Presentamos como una lógica interpretación al estudio de aceración realizado, las oportunas recomendaciones que dicta el Ing. Casas Guzmán al respecto:

- A ) Por lo que a las características metalúrgicas del proceso de aceración se refiere: el sistema de soplado por el fondo es altamente recomendable, por su mayor eficiencia y por la superioridad en la calidad del acero producido.
  
- B ) En cuanto a la operación y mantenimiento, el Sistema BOF es el más recomendable, ya que es más conocido; se cuenta con mayor experiencia, se requiere de equipos menos complejos; así como de operadores menos calificados. (85)

Como se puede observar, estas características resultan ser de gran importancia, por tanto, se concluye: que en la actualidad este sistema resulta ser el más adecuado.

Sin embargo, es necesario hacer notar; hasta el momento, los procesos LWS, OBM ó Q-BOP, se encuentran en desarrollo y tanto la información técnica como el lado económico, pueden tener cambios o modificaciones. Es por ello, que se recomienda con el fin de tener una actualización de esta evaluación técnico - económica en un futuro, se proceda a:

- 1.- Estudiar en forma experimental algunos de los aspectos

científicos de la Fisicoquímica del proceso de insuflado de oxígeno, con objeto de poder incrementar los desarrollos tecnológicos del proceso.

- 2.- Que en las Empresas Siderúrgicas Nacionales, se desarollen o experimenten las nuevas tecnologías, tomando como base la información disponible y el potencial humano con que cuente.
- 3.- En caso de ser necesario, someter a Concurso Internacional los procesos de aceración en convertidores con soplado de oxígeno por arriba (Proceso BOF) y a los convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Procesos LWS, OBM y Q-BOP).
- 4.- Evaluar la información enviada por cada proveedor desde los puntos de vista técnico y económico, selecciondo el proceso con las mejores características y ventajas técnicas; además de la mejor oferta o cotización.

Por otra parte, en cualquier aspecto en que se tome la técnica, en cualquier dominio en que se aplique, se encuentra uno en presencia de un proceso racional. Tiende a someter al mecanismo lo que pertenece a la espontaneidad o a lo irracional.

Esta racionalidad, que se da particularmente en los hechos de racionalización y de división del trabajo, de creación de los "standars" o normas de producción, implica en realidad dos movimientos: ante todo, la intervención, en toda operación, de un discurso; luego, la reducción de este discurso a su sólo dimensión lógica.

Toda intervención de la técnica es, en efecto, una reducción al esquema lógico de los hechos, de los fenómenos, de los medios, de los instrumentos. La razón conduce a realizar un objeto en función de ciertos rasgos característicos, de ciertos datos abstractos; y esto conduce, fuera de la imitación de la naturaleza, a un camino que es justamente el de la técnica.(86)

Un hecho que no hay que descuidar: cada aplicación téc-

nica moderna ha tenido antepasados. Cada invención tiene su raíz en un periodo técnico precedente (ver la Observación Metódico-Histórica de la Evolución de los Procesos de Refinación del acero) y cada periodo lleva en si tanto las supervivencias valde-deras de las tecnologías pasadas como los gérmenes importantes de las nuevas.

Lo que aparece entonces esencialmente nuevo es la formación de un complejo técnico, formado por una serie de invenciones parcelarias que se combinan para formar un conjunto en actividad a partir del momento en que el mayor número de sus partes están reunidas. (87)

La primera condición que debe cumplir el apoyo material que se preste a la ciencia, es que se le de en una escala adecuada. Muchas veces se ha detenido el avance científico por la falta de materiales adecuados, algunas veces porque eran imposibles de obtener. (88)

Hoy se puede afirmar que la Investigación Técnica que tiene un objetivo práctico determinado participa a menudo en el avance de la ciencia. (89)

La Especialización es requerida por la naturaleza particular del trabajo a realizar, impone a todos; a científicos y a técnicos, porque es la condición necesaria para el arraigo indispensable y para la eficacia pretendida. (90)

En los programas de las escuelas técnicas y de las facultades de ciencias, podrá haber aproximación; pero no se pone el acento en los mismos aspectos. Por un lado, se insiste en el mundo del cálculo, de utilización o de empleo; en el otro se insiste sobre los fundamentos y los métodos esenciales de estudios. (91)

El sabio y el ingeniero, quieren los dos; dominar la naturaleza, pero el primero quiere dominar su comprensión y el otro su explotación. Un ingeniero puede preguntar a un matemático sobre un problema, y a lo mejor responde éste, que no existe ninguna dificultad, puesto que ya se ha logrado demostrar la existencia de la solución. El científico y el técnico procurarán hacer los dos, una obra útil, pero esta preocupación co-

mún de utilidad no se refiere en los dos casos a los mismos objetivos inmediatos. (92)

La palabra "ingeniero" viene de la palabra latina ingenium que significa: inteligencia espiritual, algo natural o innato. Una raíz más lejana es genium, el espíritu supremo que preside el nacimiento. Gignere significa emprender. En francés, la palabra engin significa: instrumento complejo. El ingeniero es el autor de tales instrumentos.

La palabra "técnico" viene del griego tejne, que significa a la vez arte, ciencia y procedimiento. El sabio busca el conocimiento, el ingeniero busca y define la aplicación; el técnico prolonga y secunda al ingeniero y al hombre de estudio o de ciencia y construye el objeto; el obrero lo realiza.

Ahora bien, el producto humano principal y directo de la civilización técnica es la mentalidad técnica. Hay muchas maneras de participar en la civilización técnica, y cada una podría definir una mentalidad específica.

En el interior de un mundo que con demasiada facilidad creemos homogéneo, estas mentalidades presentan a veces características casi contradictorias; por eso la mentalidad técnica no es una realidad simple. (93)

Por otra parte, nos dice Faría: Los procedimientos que integran el Método Científico no son a priori, sino suministrados por la experiencia. Los métodos no se improvisan; son el fruto de una investigación paciente. Si el Método es necesario para la Investigación y Comprobación de la verdad, no lo es menos para la exposición de la misma.

De esto, que la Pedagogía sea por excelencia la Ciencia del Método.

## V.2.- PERSPECTIVAS SOBRE LA ENSEÑANZA TECNICA.

La conclusión esencial que se puede obtener del estudio de las repercusiones del progreso técnico sobre las calificaciones profesionales: es que este progreso exige una mano de obra más competente para la ejecución de ciertos trabajos in-

dustriales y modifica las cualificaciones requeridas en muchos sectores de la economía.

Ello requerirá la adaptación de los sistemas de instrucción y de formación profesional. Según la profundidad de esta adaptación, la sociedad sabrá plegarse con mayor o menor facilidad a las exigencias de las innovaciones técnicas que penetran el mundo de la industria.

Parece que algunas disciplinas: la Matemática, las Ciencias Naturales y la Filosofía sobre todo; ocuparán un espacio mayor en los programas. Se espera que, bajo el impulso de la técnica moderna, la enseñanza superior va a tomar demasiada expansión, más particularmente en el dominio de los estudios técnicos.

El mundo tendrá necesidad cada vez más de sabios y de técnicos, de trabajadores intelectuales formados en las disciplinas más diversas; los universitarios y las personas con estudios equivalentes constituirán un porcentaje muy fuerte de la población.

Asimismo, en la Enseñanza Superior se orientará la instrucción hacia las necesidades de la hora, a organizar nuevos cursos y adaptar nuevos Métodos.

Los establecimientos de enseñanza superior ampliarán sus investigaciones en materia de Ciencias Puras, de Ciencias Aplicadas y de Ciencias Sociales; de modo que se estimulen y amplifiquen las experiencias a las que proceden las empresas industriales.

Se realizará un mayor acercamiento entre la Enseñanza Superior y la Industria. Así, las investigaciones modernas científicas comprometen a los jóvenes a tener un conocimiento lo más completo posible de todas las ciencias antes de lanzarse a una especialización. (94)

### V.3.- CONCLUSIONES PARTICULARES.

En el medio académico de la Metalurgia inmersa en la Facultad de Química de la U.N.A.M., hacemos mayor énfasis en su

acción interna como externa; así, se presentan las aseveraciones formuladas por el Ing. Pineda Alvear en su espléndida tesis profesional: (95)

Para lograr una planeación verdaderamente efectiva de cualquier carrera de ingeniería se requiere una visión amplia y precisa de la situación industrial del país, así como de sus necesidades y problemas sociales, económicos y políticos. El país requiere de técnicos altamente capacitados pero sobre todo de profesionistas con una preparación científica, conciencia de la realidad y sentido humano. Este párrafo representa el punto principal de la política de reestructuración de la carrera de Ingeniero Químico Metalúrgico que se lleva a cabo en esta facultad.

Así, la carrera de Metalurgia ha sido fortalecida con recursos materiales y humanos, dando como resultado la elaboración de un programa de maestría en Metalurgia, un curso de especialización y hacer una revisión del programa de licenciatura.

Otro punto fundamental para lograr una planeación objetiva de cualquier carrera es el de redefinir la relación escuela-empresa; esta relación prácticamente no existe y provoca que no se obtenga el profesionista que se necesita y el egresado no sabe donde puede trabajar ni quien lo puede ocupar.

Para lograr los objetivos fijados se requiere una cooperación completa por parte de la empresa, teniendo en cuenta que la enseñanza de la Metalurgia no puede estar separada de ésta, ni de su desarrollo futuro. Además, al final, los resultados que se obtengan serán en beneficio de la industria y en consecuencia de la producción nacional.

La participación de la empresa entre otros aspectos, debe ser para lograr:

- 1.- La actualización y adaptación de planes y programas de estudio acorde a sus necesidades.



- 2.- La realización de prácticas industriales y el aprendizaje en la producción.
- 3.- Promover la Investigación Metalúrgica.
- 4.- Desarrollar un mecanismo estable de unión entre la:  
Escuela y la Empresa.

Es importante señalar que, entre las instituciones dedicadas a la enseñanza de la Metalurgia en México, la Facultad de Química de la U.N.A.M. presenta el mayor potencial de profesores y de alumnos.

Y teniendo en cuenta los siguientes aspectos de carácter interno: Metodológico-Pedagógicos:

- A ) Enfoque en la verificación del Método Científico en el aula de clases con fines didácticos, con el propósito de llevar un mayor ordenamiento metódico en las secuencias pedagógicas.
- B ) Establecer como base fundamental en las funciones del Laboratorio: el Método Experimental.
- C ) Con la realización efectiva de una Metodología, se tendrá un conocimiento gradual, sin omitir pasos, ni adelantar o retrasar etapas en la Enseñanza; así como en la Investigación.
- D ) Pensamos que es un acierto la implantación de una nueva asignatura obligatoria en la carrera de I.Q.M. que es la materia: Filosofía de la Ciencia, porque ayudará a modelar la Actividad Académica y de Investigación. Creemos se resolverán problemas experimentales del Laboratorio.
- E ) Es recomendable la creación en la Maestría de Metalurgia, un departamento de Metalurgia Teórica con el fin de alimentar con sus investigaciones puras a la Metalurgia Experimental.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- (1) Padilla, H.: El Pensamiento Científico (Antología), Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior, México, 1974, p. 140.
- (2) Romero, F. y Pucciarelli, E.: Lógica, Espasa Calpe, Buenos Aires, 1938, p. 85.
- (3) Kumate, J.: Mesa redonda presentada en la sesión ordinaria del 3 de junio de 1970 acerca del Método Científico en la Investigación Clínica; Instituto Mexicano del Seguro Social.
- (4) Reichenbach, H.: La Filosofía Científica, Fondo de Cultura Económica, México, 1973, p. 238.
- (5) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (6) Hempel, C.G.: Philosophy of Natural Science, Englewood Cliffs Prentice-Hall Inc., 1966, p. 65.
- (7) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (8) Material Documental del Laboratorio de Ciencia Básica, Facultad de Química, U.N.A.M., 1975.
- (9) Gortari, E.: 7 Ensayos Filosóficos sobre la Ciencia Moderna, No. 56 de la Colección 70, México, 1973, p. 20.
- (10) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (11) Sepúlveda, B.: Mesa redonda cit.
- (12) Ibidem.
- (13) Cohen, M.R. y Nagel, E.: An Introduction to Logic and Scientific Method, Harcourt; Brace and World, Inc., New York, 1934, p. 393.
- (14) Trotter, W.: citado por Beveridge, W.I.B. en: The Art of

- (15) Sepúlveda, B.: Mesa redonda cit.
- (16) Salmon, W.C.: Logic, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc. 1963, p. 77.
- (17) Russell, B.: La Perspectiva Científica, Ariel, Barcelona, 1969, p. 57.
- (18) Sepúlveda, B.: Mesa redonda cit.
- (19) Ibidem.
- (20) Ibidem.
- (21) Fisher, A.: The Design of Experiments, Edimburgh, Oliver and Boyd, 1935, pp. 7-18.
- (22) Sepúlveda, B.: Mesa redonda cit.
- (23) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (24) Bunge, M.: La Ciencia, su Método y su Filosofía, Siglo XX, Buenos Aires, 1973, p. 91.
- (25) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (26) Rosenblueth, A.: El Método Científico, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., México, 1971, p. 69.
- (27) Heisenberg, W., Tiselius, A. y Yukawa, H.: El Humanismo en la Filosofía de la Ciencia, suplementos III/4, Problemas Científicos y Filosóficos, U.N.A.M., 1967, p. 14.
- (28) Riaza, M.J.: Ciencia Moderna y Filosofía, B.A.C., Madrid, 1969, p. 653.
- (29) Ibidem, p. 663.
- (30) Rosenblueth, A.: op. cit., pp. 70-75.
- (31) Roqueplo, P.: 8 Tesis sobre la Significación de la Ciencia, cuadernos beta, Barcelona, 1972, pp. 13-14.
- (32) Bridgman, P.W.: The Logic of Modern Physics, MacMillan Co. New York, 1927.
- (33) Romero, F. y Pucciarelli, E.: Op. cit.. p. 74.

- (34) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (35) Asti Vera, A.: Metodología de la Investigación, Kapelusy, Buenos Aires, 1968, p. 133.
- (36) Brugarola, M.: Sociología y T. de la Técnica, B.A.C., Madrid, 1967, pp. 47-52.
- (37) Casas Guzmán, A.: Tesis Profesional.- Estudio Comparativo entre los Procesos BOF, LWS, OEM y Q-BOP para la obtención de Acero, Facultad de Química, U.N.A.M., 1975, p. 6.
- (38) Ibidem, pp. 7-12.
- (39) Ibidem, p. 13; tomado de Harold E. McGannon, The Making Shaping and Treating of Steel, U.S. Steel Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, december 1970. Fig. 18-4.
- (40) Ibidem, p. 32; tomado de Harold E. McGannon: op. cit., Fig. 16-12.
- (41) Ibidem, p. 17; tomado del Dr. Brotzmann: The bottom-blown oxygen converter, Iron and Steel Institute, Munich, october 15, 1974.
- (42) Ibidem, pp. 16-22.
- (43) Ibidem, pp. 34-36.
- (44) Ibidem, p. 58; tomado del Dr. Brotzmann: Op. cit.
- (45) Ibidem, pp. 41-54.
- (46) Brotzmann, Dr.: Op. cit.
- (47) Chatterjee, A.: The New Oxygen Steelmaking Process, Iron and Steel International, october 1973, pp. 440-448.
- (48) Continuous Casting Machines for Steel, Concast; CH-B027, Zurich/Switzerland, 1973.
- (49) Casas Guzmán, A.: Op. cit., p. 42; tomado del Dr. Brotzmann, op. cit.
- (50) Ibidem, pp. 40-41.
- (51) Brisse, A.H.: The Development of the Q-BOP Process in U.S. Steel Co., 1974.

- (52) Casas Guzmán, A.: Op. cit., pp. 57-59.
- (53) Ibidem, p. 12.
- (54) Ibidem, pp. 101-115.
- (55) Ibidem, pp. 9-11.
- (56) Ibidem, p. 179.
- (57) Ibidem, pp. 101-115.
- (58) Ibidem, pp. 36-39.
- (59) Ibidem, pp. 61-67.
- (60) Ibidem, pp. 99-100 y pp. 117-121.
- (61) Casas Guzmán, A.: Op. cit., p. 69; tomado de Turkdogan, E. T.: Manager of the Chemical Metallurgy U.S. Steel Co. Research Laboratory, Monroeville, Pa.; U.S.A., 1975. Fig. 1.
- (62) Ibidem, pp. 68-71.
- (63) Ibidem, p. 70; tomado de Turkdogan, E.T.: Op. cit., fig.2.
- (64) Ibidem, p. 72; tomado de Turkdogan, E.T.: Op. cit., fig.3.
- (65) Ibidem, p. 75; tomado de Turkdogan, E.T.: Op. cit., fig.4.
- (66) Ibidem, p. 77; tomado de Turkdogan, E.T.: Op. cit., fig.5.
- (67) Casas Guzmán, A.: Op. cit., pp. 72-83.
- (68) Ibidem, pp. 84-92.
- (69) Turkdogan, E.T., Grieveson, P. and Darken, L.S.: Enhancement of Diffusion Limited Rates of Vaporization of Metals, Journal of Physical Chemistry, 67; 1963, pp. 1647-1654.
- (70) Casas Guzmán, A.: Op. cit., p. 81; tomado de Turkdogan, E. T.: Op. cit., fig. 8.
- (71) Fisher, W.A. and Darenbach, M.: Arch. Eisenhüttenwesen, 35, 1964, pp. 391-399.
- (72) Casas Guzmán, A.: Op. cit., p. 86; tomado de Turkdogan, E. T.: Op. cit., fig. 10.
- (73) Ibidem, p. 93.
- (74) Ibidem, p. 153.

- (75) Casas Guzmán, A.: Op. cit., pp. 161-164.
- (76) Creighton Buck, R. y Buck E.: Cálculo Superior, McGraw-Hill, Book Co., Madrid, 1968, p. 514.
- (77) Brillouin, L.: La Información y la Incertidumbre en la Ciencia, U.N.A.M., 1969, p. 108.
- (78) Frank, H.: Cibernética, Zeus, Barcelona, 1966, p. 377.
- (79) Material Documental del Curso Panamericano de Metalurgia, México, 1975.
- (80) Février, P.: Determinismo e Indeterminismo, U.N.A.M., 1957, pp. 229-230.
- (81) Reed-Hill, R.E.: Principios de Metalurgia Física, CECSA, México, 1971.
- (82) Dieter, G.: Mechanical Metallurgy, MacGraw-Hill, Book C. Inc, Kogakusha, 1961.
- (83) Geiger-Poirier: Transport Phenomena in Metallurgy, Addison Wesley, 1973.
- (84) Kumate, J.: Mesa redonda cit.
- (85) Casas Guzmán, A.: Op. cit., pp. 165-167.
- (86) Brugarola, M.: Op. cit., p. 145.
- (87) Ibidem, pp. 75-76.
- (88) Bernal, J.D.: La Ciencia en Nuestro Tiempo, U.N.A.M., 1960, p. 465.
- (89) Brugarola, M.: Op. cit., p. 175.
- (90) Germain, P.: Ideal Scientifique el idéal Technique, en la Technique et l'homme, p. 97.
- (91) Ibidem, p. 98.
- (92) Brugarola, M.: Op. cit., pp. 170-171.
- (93) Ibidem, pp. 362-364.
- (94) Ibidem, pp. 295-298.
- (95) Pineda Alvear, J.A.: Tesis Profesional.- Análisis de los Recursos Humanos requeridos por la Industria Metalúrgica y Cap. Educativa. Fac. Química, UNAM, 1976, pp. 22-23.

A P E N D I C E

U N

E N S A Y O C O S M O L O G I C O  
S O B R E L A M E T A L U R G I A

La Cosmología enfoca reflexivamente el estudio de la Materia considerada inanimadamente, penetrando más allá de los fenómenos, hasta la estructura esencial; en tanto las Ciencias Fisico-Químicas se detienen en la apariencia sensible, en los fenómenos; investigando sus leyes y sus causas inmediatas.

M. y R. García - Tuduri.

La estructura de esta elaboración cosmológica consta de las partes siguientes:

I.- INTRODUCCION.- Conceptos de:

I.1.- Metafísica.

I.2.- Empirismo.

I.3.- Positivismo.

I.4.- Idealismo.

I.5.- Empirio - Criticismo.

I.6.- Filosofía Científica.

## II.- CRITICA DE LA COSMOVISION DEL MATERIALISMO DIALECTICO.

- II.1.- Introducción.
- II.2.- La Primera Ley Dialéctica.
- II.3.- La Segunda Ley Dialéctica.
- II.4.- La Tercera Ley Dialéctica.

## III.- UNA INVESTIGACION COSMOLOGICA DE LA METALURGIA EN EL REALISMO CRITICO.

- III.1.- Análisis de la Expresión: La Metalurgia es el Arte más Viejo y la Ciencia más Nueva.
- III.2.- Cosmo-visión Metálica.
- III.3.- Onto-génesis Metálica.

---

## I.- INTRODUCCION.

Expondremos brevemente las doctrinas sistemáticas del pensamiento universal que nos interesan aquí. Se comenzará con la metafísica, luego con las tesis materialistas e idealistas y, terminaremos esta parte: sobre la noción e importancia actual de la Filosofía Científica.

I.1.- Concepto de Metafísica.- El significado de este término es: más allá de la física, es decir; se estudia al ser por su ser y sus atributos esenciales, reflexiona sobre los seres ultra-sensibles. Cuando la Metafísica estudia al ser de una manera general, recibe el nombre de Ontología. En cambio, cuando el enfoque especulativo consiste en una orientación preferencial, se denomina Metafísica Especial; en ésta, se concentran los esfuerzos intelectuales hacia un triple objeto, con sus propias distinciones: El Ser en su máxima perfección (Teodicea), el Hombre (Psicología y Antropología) y el Mundo (Cosmología).



La Cosmología consiste en la filosofía de la naturaleza, del pensamiento que se tiene del cosmos. Una ciencia natural sin interpretaciones cosmológicas, sería inútil e incompleta.

I.2.- Concepto de Empirismo.- Se da este nombre al sistema que afirma que las ideas inclusive los primeros principios provienen exclusivamente de la experiencia sensible (empeira, en griego) y no tienen valor sino dentro de ella.

Uno de los principales autores del empirismo es Locke quién partió del principio escolástico: "Nada hay en el entendimiento, que no haya pasado por el sentido", dándole un significado sensualista que no tenfa; a saber, que nada hay en el entendimiento que supere a los sentidos. Tomó también de la Filosofía escolástica la expresión de que el entendimiento, antes de la operación de los sentidos es "tabula rasa" (tabla sin nada); en la que nada hay escrito. Pero le dió también un sentido sensualista.

Para Locke, no solamente no hay en el entendimiento ideas innatas, superiores a la experiencia, sino que es una facultad meramente pasiva en que se imprimen las sensaciones, pero que carece de toda actividad específica.

Condillac llevó hasta el último extremo el sensualismo, al decir que todo el conocimiento es reducido a la simple sensación y todas las operaciones de la mente son sensaciones.

Es importante mencionar, que el Empirismo desconoce la diferencia básica entre: imagen e idea, entre entendimiento y sentidos. Porque el paso de lo particular a lo universal, sólo puede realizarlo la razón.

En cuanto a los primeros principios, es evidente que los sentidos, no pueden llegar a su conocimiento, esas verdades tienen como propiedad: el ser universales, abstractas y necesarias (como los axiomas y postulados científicos) y las verdades conocidas por los sentidos, tienen principalmente las propiedades contrarias: son particulares, concretas y contingentes.

A continuación presentamos lo que dice H. Reichenbach en su libro "La Filosofía Científica", del Fondo de Cultura Econó-

mica, México, 1973, pp. 94-97 :

La lógica inductiva de Bacon es ingenua, ya que se funda en la seguridad de una regla que el sentido común inclinase a aplicar. Pero, a pesar de ello, el científico no puede dejar de tomarla en cuenta. Una crítica del Método Científico es cosa que no puede esperarse en una época en que tal Método se halla en sus comienzos y se sostiene por el optimismo en sus primeros éxitos. Los historiadores de la filosofía que critican la lógica inductiva de Bacon como no científica deben reparar en que sus juicios reflejan los avances de etapas posteriores.

En Bacon, el Empirismo encontró su profeta; en Locke su defensor público, en Hume su crítico. Locke consideró la teoría del conocimiento empírico de Bacon como derivada inductivamente de generalizaciones de experiencias, aún cuando no aclara la cuestión de si todo conocimiento sintético es empírico.

Parece que consideraba el conocimiento matemático como absolutamente seguro, por ser sintético y, por tanto, le distinguía del conocimiento empírico. Las proposiciones necesarias son, según él "instructivas" o "fútiles", distinción por medio de la cual, al parecer, anuncia la distinción kantiana entre proposiciones análíticas y sintéticas y que, si se interpreta de este modo, lo convertiría en partidario de la síntesis a priori. Y es verdad que no hay una clara distinción hacia la síntesis a priori en los escritos de Locke.

Sigue diciéndonos Reichenbach (op. cit., pp. 116-117) : El determinismo de la ciencia moderna se originó en el éxito del método matemático en la física. Si era posible traducir las leyes físicas a relaciones matemáticas, si los métodos deductivos resultaron ser instrumentos de predicciones precisas, debía haber un orden matemático detrás de la aparente irregularidad de las experiencias; debía haber un orden causal.

Si no siempre conocemos el orden, si parece imposible que lo lleguemos a conocer alguna vez completamente, este fracaso se debe a la imperfección humana.

El matemático francés Laplace ha expresado este punto de vista en su famoso símil de una inteligencia sobrehumana que pu

diera observar la posición y la situación de cada átomo y pudiera resolver todas las ecuaciones matemáticas; para este super hombre "el futuro, como el pasado, serían presente" y podría definir con exactitud los más pequeños detalles de cada acontecimiento, ya fuera en un futuro de mil años o en un pasado semejante.

Este determinismo físico fue el resultado más general de la física newtoniana, ante el cuadro presentado por la física clásica no parece extraño que la época de Newton se abriera al desarrollo del racionalismo; así como del empirismo.

Los empiristas analizaron sólo un aspecto de la ciencia, el lado que corresponde a la observación; los racionalistas subrayaron su aspecto matemático; el empirismo finalmente se desbarató en la crítica de Hume porque no pudo explicar la naturaleza predictiva de la ciencia, no pudo explicar cómo podríamos conocer el orden estrictamente causal del mundo, de cuya existencia el científico estaba seguro pretendiendo conocerlo al menos en sus líneas generales.

Los racionalistas creían estar justificados al atacar la posición empirista, y desarrollaron sistemas que trataban de explicar el papel que las matemáticas representan en la construcción del mundo físico.

Escribe E. May en su "Filosofía Natural", Fondo de Cultura Económica, No. 83, México, 1975, pp. 19-20 :

Crítica de la fundamentación empirista de la ciencia.- Aún prescindiendo del hecho de que las proposiciones universales básicas (por ejemplo, el principio de causalidad) no se presentan en la práctica de la investigación ni en la formación de las teorías científico-naturales como principios empírico-inductivos ni pueden ser refutadas por ningún dato de la observación (I. Kant, J.F. Fries, H. Lotze, L. Nelson, H. Poincaré, P. Duhem, H. Dingler, K. Popper, M. Hartmann, E. May, etc.), el caso es que si nos atenemos al punto de vista empirista, queda sin resolver el problema del fundamento último de las proposiciones básicas y, con él, el de la validez real de todos los enunciados de la ciencia natural que rebasa el puro "aquí y a-

hora". Tampoco el principio de convergencia introducido por Bavink, en cuya virtud bastaría la coincidencia en los resulta-- dos obtenidos por vás distintas para fundamentar y otorgar validez real a los enunciados científicos correspondientes, permitte suplir la falta de una fundamentación última auténtica, por mucha que sea la importancia de ese principio, dentro de la marcha de la investigación.

Además, la coincidencia en el resultado de las mediciones y cálculos no excluye la posibilidad de explicaciones e interpretaciones diferentes. Sólo un positivismo verdaderamente consecuente (K. Popper) puede eludir las dificultades que acompañan al punto de vista empirista, pero a ese fin tiene que renunciar, expresamente, a una fundamentación última, declarar que carece de sentido la cuestión de la validez real entendida ontológicamente; y darse por satisfecho con una "descripción" siempre rectificable, justificada tan sólo por su comprobación hasta la fecha.

I.3.- Concepto de Positivismo.- El positivismo admite la capacidad de nuestra mente para conocer la verdad, pero la limita a la esfera de las cosas sensibles, al mundo fenoménico; todo aquello que lo trasciende no es objeto de nuestro conocer racional; por otro camino, acaso podamos llegar: con el sentimiento, con la voluntad, pero no con el intelecto.

La experiencia es el único criterio de verdad en la ciencia como en la filosofía .(Dezza), surgiendo el Positivismo con A. Comte; quien formula la Ley de los Tres Estados, a través de los cuales pasan los conocimientos tanto en el individuo (teoría del conocimiento) como en la sociedad (filosofía de la historia):

I.- Estado teológico, provisional y preparatorio, en que la mente busca las causas y principios de las cosas, lo más profundo, lejano e inasequible, este estado; en el que predomina la imaginación, corresponde -dice Comte- a la infancia de la humanidad.

II.-Estado metafísico, crítico y de transición, en que se

intenta explicar la naturaleza de los seres sin recurrir a agentes sobrenaturales, sino a entidades abstractas. Especie de pubertad histórica.

III.- Estado positivo, definitivo, en que la mente se atiene a las cosas, el Positivismo busca sólo hechos y leyes, se ajusta a lo positivo; a lo que está puesto o dado. Es la filosofía del dato que busca sólo las leyes de los fenómenos.

El estudio de los fenómenos no es nunca absoluto, sino relativo a nuestra organización individual y a nuestra situación histórico-social. El fin del saber es la previsión racional.

(Enciclopedia Metódica Larousse, tomo 3, París, 1964).

Al desprecio por la metafísica contribuyeron dos cosas: Los excesos del Idealismo que se empeñó en fundar un sistema completamente distanciado de la realidad y de las ciencias, las cuales; una vez que encontraron su propio método alcanzaron florecimiento.

Se creyó que las ciencias naturales explicarían todas las cuestiones que puedan interesar al hombre y así se llegó al cientificismo, al culto de las ciencias, con desprecio absoluto de la filosofía.

Cabe hacer mención que el Positivismo niega el principio de causalidad, base fundamental del determinismo científico de la ciencia moderna; porque si no hay causalidad, ¿Cómo explicar que puesta la causa se sigue el efecto? y ¿Quitada la causa el efecto desaparece?

I.4.- Concepto de Idealismo.- El conocimiento -según el Idealismo- no puede saber de si mismo, nada alcanza fuera de si, y lo que hace es crear cosas cuyo ser es inmanente al pensamiento. La verdad, por tanto, no es la conformidad del conocimiento con las cosas, sino del conocimiento con las leyes del pensamiento. (Dezza)

El Idealismo moderno tiene sus orígenes en Descartes, pero

es Kant quien pone las bases afirmando el Principio de Inmanencia, que es todavía la tesis fundamental del idealismo. El punto en que tienen origen común y relación íntima el criticismo kantiano con el positivismo agnóstico es el principio de inmanencia, que asegura que nosotros no podemos conocer aquello que está fuera de nuestro pensamiento; sino sólo aquello que le es inmanente.

Hay varias clases de Idealismo: el Cósmico, el Transcendental y el Absoluto; el primero niega la realidad del mundo visible y de los cuerpos. Entre los antiguos lo profesaron: Parménides y Zenón y entre los modernos: Berkeley. El segundo, acepta alguna realidad exterior pero enseña que no podemos conocerla como es en sí misma, sino a través de formas innatas de la mente, como en la doctrina kantiana que es subjetivista y criticista.

Finalmente en el Idealismo absoluto se niega la cosa en sí, o sea el objeto exterior, no existe ninguna realidad ni física, ni metafísica; fuera del sujeto pensante, como sucede en el idealismo hegeliano.

Es muy importante notar que en general el Idealismo va en contra del sentido común y la experiencia. Es ridículo enseñar que yo creo (en el sentido de crear) a mis padres el día que los conozco. O que el sol existe en el momento en que lo he conocido, siendo que tiene millones de años de existencia.

1.5.- Concepto de Empirio - Criticismo.- La influencia de Kant se hace manifiesta en las corrientes positivistas, sobre todo en Alemania; dando lugar a un Neo-positivismo, que es iniciado por Ernesto Laas (1837-1885) y Eugenio Dühring (1833-1921) quien lo prosigue. Y en Ricardo Avenarius se advierte más la influencia kantiana en su Empiriocriticismo.

En Guillermo Schuppe (1836-1913) se agudiza la "Filosofía de la Inmanencia" y se opone de raíz a la metafísica. En su criticismo, Kant quiso darle a su sistema una base claramente positivista. La idea kantiana es: el que la realidad dependa de los conceptos de la mente y no éstos de la realidad. Kant pre-

tendió invertir el orden de las relaciones entre el conocimiento y el objeto. Los conceptos de la mente, de los cuales depende de la realidad, son necesariamente a priori (es decir, que no provienen de la experiencia sensible), de aquí arranca el a priori de Kant.

Ahora bien, las facultades que nos hacen creer que el objetivismo de nuestras intuiciones sensibles y de nuestros conceptos, son engañosas y deben ser sometidas a CRITICA. De aquí el criticismo kantiano.

Por otro lado, el Materialismo Dialéctico rechaza todo tipo de a priori, ya que, como dice F. Engels "La naturaleza es la prueba de toda dialéctica" en su Anti-Düring. (La Dialéctica la reservamos en la parte siguiente de este estudio).

Refiere Lenin que las ideas reflejan las cosas, pero en este proceso opera, como en cualquier otro; el tránsito dialéctico: las ideas no son pasivas sino activas. Las ideas vienen de las cosas; con ideas reflejadas se pueden formar ideas nuevas. Por lo que toca a las ideas, éstas nunca son perfectas, porque la naturaleza, de la que son representación, se transforma sin cesar. Así, "al ser determinada la conciencia y no a la inversa"; y el conocimiento es tanto más verdadero cuanto mejor refleja las cosas. (Lenin, Materialismo y Empirio-Criticismo).

I.6.- Concepto de Filosofía Científica.- Comenzaremos con la expresión: "Todo buen científico es un buen filósofo". Es cierto, como lo apreciamos en las biografías de científicos célebres, a saber:

- Pitágoras, matemático y filósofo.
- Newton, físico, matemático y filósofo de la ciencia.
- Leibnitz, matemático, filósofo y teólogo.
- Pascal, físico y filósofo.
- Descartes, matemático y filósofo.
- Poincaré, matemático y filósofo científico.

- De Broglie, fisicoquímico y filósofo científico.
- Puig, químico, astrónomo, filósofo y teólogo.
- Riaza, físico y filósofo de la ciencia.
- T. de Chardin, antropólogo físico y teólogo.
- Carrell, médico y filósofo.
- Rostand, biólogo y filósofo.
- Heisenber, físico y filósofo científico.
- Tiselius, físico y filósofo científico.
- Yukawa, físico y filósofo científico.
- Rosenberg, físico y filósofo científico.
- Einstein, físico, fisicoquímico y filósofo.
- Russell, matemático y filósofo.

Estos personajes son sólo algunos de la formidable gama de científicos y filósofos que han dado valiosísimas aportaciones a la humanidad.

Dice Reichenbach que la historia de la filosofía científica es la historia del desarrollo de los problemas, éstos no se resuelven por medio de vagas generalidades, o por medio de pintorescas descripciones sobre las relaciones entre el hombre y el mundo, sino por medio del trabajo técnico. Este trabajo es realizado por las ciencias y , a decir verdad, el desarrollo de los problemas debe buscarse en la historia de las ciencias individuales.

Los sistemas filosóficos, en el mejor de los casos, han reflejado la situación del conocimiento científico de su época; pero no han contribuido al desenvolvimiento de la ciencia.

El desarrollo lógico de los problemas es labor del científico; su análisis técnico, aún cuando a menudo se halla dirigido hacia pequeños detalles y rara vez se realiza con propósitos filosóficos, ha ampliado la comprensión del problema hasta que, con el tiempo, el conocimiento técnico fue lo suficiente-



mente completo para poder dar respuesta a las preguntas filosóficas. Heisenberg, nos dice: Una de las diferencias más importantes entre la filosofía antigua y la ciencia moderna radica en la aplicación del Método Científico.

Así, en la filosofía antigua, las conclusiones se extraían de un conocimiento empírico de los fenómenos naturales; por el contrario, un rasgo esencial de la ciencia moderna es el planteamiento de preguntas específicas a la naturaleza, por medio de experimentos. Este cambio en el método está relacionado con un cambio bastante radical de perspectiva.

La atención se dirige ahora, no tanto al principio fundamental subyacente que vincula los distintos fenómenos, cuanto a las regularidades en los detalles.

La ciencia natural es abordada, por decirlo así, desde el otro extremo, no a partir de las leyes generales sino de los grupos particulares de hechos. Este cambio de perspectiva tuvo otras consecuencias importantes. Un conocimiento preciso concerniente a las regularidades de los detalles puede ser útil y permite al hombre dirigir los fenómenos a voluntad, dentro de ciertos límites, las aplicaciones técnicas de la ciencia moderna parten del conocimiento de los detalles.

Nos dice ahora Walker: El Método Científico, postula un modelo basado en las observaciones o mediciones experimentales existentes; verifica las predicciones de este modelo con respecto a las observaciones o mediciones ulteriores, y ajusta o sustituye al modelo, conforme lo requieran las nuevas observaciones o mediciones.

Brugarola: La ciencia y la técnica utilizan el mismo criterio del control experimental y de la sumisión al hecho. Esta sumisión no es meramente pasiva; una abierta sumisión a la experiencia es a menudo fuente de descubrimientos.

La ciencia es un "todo" complejo, no uno simple; y ese sentido de la unidad de la ciencia que proviene del análisis conceptual de su Metodología y de sus ideas fundamentales es también complejo. En el mejor y más profundo sentido de filosofía una comprensión humanística de la ciencia es una comprensión filosófica de la ciencia. (Wartofsky)

II.- CRITICA DE LA COSMOVISION DEL MATERIALISMO DIALECTICO.

II.1.- INTRODUCCION.- Comenzamos por decir lo que escribe Ares Somoza en su libro: Materialismo Dialéctico y Ciencia de la Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1971, pp. 36-51 :

El marxista afirma que sólo existe la materia. Lenin nos da la definición de ella, que dice así:

"La materia es una categoría filosófica que sirve para designar la realidad objetiva, dada al hombre en sus sensaciones y que existe independientemente de ellas". (Lenin, Materialismo y Empirio-criticismo).

Si esta definición quiere ser tomada como prueba de que la materia es lo único que existe, caemos en el absurdo, porque el razonamiento que se desprende de dicha definición; es el siguiente:

- 1.- Todo es materia.
- 2.- Por lo tanto, el hombre también es materia.
- 3.- La materia es la realidad objetiva que existe FUERA de nosotros (ver la definición).
- 4.- Por lo tanto, la materia existe FUERA de la materia.

Hay contradicción, entonces o se admite que la definición es valiosa pero solamente para comenzar a resolver el problema del conocimiento, afirmando que las cosas existen fuera de nosotros; lo cual ya lo dijo Aristóteles y ratificó el doctor de Aquino; es decir, el conocimiento no depende exclusivamente ni del sujeto (Idealismo) ni de la cosa (Materialismo), sino de ambos (Realismo). Pero todo esto no explica si el mundo es o no puramente material.

Elstein en 1951, se dió cuenta en la Academia de Ciencias de Polonia que la definición de Lenin no era privilegiada ni exclusiva. Pero parece no advertir claramente que el verdadero hacer del Materialismo Dialéctico es querer :

Hacer de dicha definición una explicación metafísica, siendo solamente epistemológica (teoría del conocimiento).

Lo que priva es el Método Científico y se acepta, sin entrar a analizar el concepto, que en el plano filosófico lo que dijo Lenin es la última palabra más allá de la cual no hay nada nuevo. Todo esto da lugar, sin embargo; a una serie de expresiones conceptuales:

"La materia es una categoría filosófica...." (Lenin).

"No se halla vinculada al reconocimiento de un tipo determinado de materia". (Konstantinov).

"La materia es la abstracción máxima más allá de la cual es imposible ir". (Kuusinen).

"El concepto de materia es el concepto más general".(Ibid.)  
Ahora bien, la dinámica dialéctica de la materia fue expresada en forma de leyes por el proceso siguiente:

- 1.- La lucha y la unidad de los contrarios.
- 2.- El paso de la cantidad a la cualidad y viceversa.
- 3.- La negación de la negación. (Engels, Dialéctica de la Naturaleza).

La Ley 1 hace referencia al origen del universo, o sea, la materia en cuyo seno anidan contradicciones que la hacen transformarse con sus luchas (automovimiento).

La Ley 2 explica la aparición de cualidades nuevas y seres nuevos, mediante la acumulación de pequeñas modificaciones cuantitativas que preparan el salto de lo anterior a lo posterior, de lo simple a lo complejo.

La Ley 3 indica el continuo proceso de progreso y evolución hacia algo nuevo y más perfecto que domina al universo.

En relación con esto, tenemos la evolución dialéctico-hegeliano, que consiste en: Tesis, Antítesis y Síntesis. Siempre la síntesis encierra mayor riqueza que la tesis y la antítesis por separado.

Stalin completó las leyes formuladas por Engels con cuatro postulados fundamentales:

- 1.- Todos los fenómenos están unidos.
- 2.- Todo está en evolución.
- 3.- La evolución se realiza por saltos.
- 4.- Todas las cosas tienen sus contradicciones internas que luchan entre sí.

II.2.- La Primera Ley Dialéctica.- La lucha y unidad de los contrarios, en la obra citada de Ares Somoza, pp. 73-86 escribe que la materia dotada de automovimiento no apela a un ser necesario y trascendente, puesto que materia y movimiento son inseparables, originado por el hecho de que en el seno de la materia anidan las contradicciones. Estas luchas se sintetizan; el movimiento sigue y siempre hacia adelante, hacia lo mejor. El progreso es la esencia de la dialéctica.

Cuando el marxismo afirma que todo está en proceso, que todo cambia, que nada permanece estable, quiere aparecer como rompiendo con un viejo molde filosófico. Sin embargo, no tiene ningún inconveniente en afirmar en seguida la existencia de una serie de estabilidades absolutas, o sea, todas las tesis del materialismo dialéctico que van a ser consideradas como definitivas e insuperables.

Que la materia es eterna, increada, infinita, en autoevolución, que el advenimiento de la sociedad sin clases es irresistible e inevitable, son postulados fundamentales del marxismo-leninismo. Se podría preguntar: si todo conocimiento es un reflejo de la realidad, como dice Lenin ; y la realidad es totalmente cambiante e inestable ¿Cómo es posible que lo que no es más que reflejo de eso, a su vez, no vaya cambiando? si un postulado refleja una realidad esencialmente cambiante, no comprendemos que pueda tener validez de postulado, o sea, verdad absoluta e indiscutible.

Y es que en realidad, si bien las cosas cambian y se modifican profundamente, hay realidades no precisamente sensibles sino metafísicas, que no cambian, que no pasan. Por ejemplo: los principios primeros del pensamiento (identidad, no contra-

dicción, causalidad, finalidad, razón suficiente).

La ley de identidad ( $A=A$ ) la dialéctica dice que es una tautología, que es inútil; podríamos decir que en verdad no es inútil ni tautológica, porque es evidente que cada cosa es igual a si misma: yo soy yo y no puedo ser otro; y además porque sin la existencia de este principio, no habría comprobación en matemáticas.

Asimismo, tampoco cambian las razones universales de las cosas, ni las realidades inmateriales (el amor, la justicia, la bondad, etc.), aún los mismos números no cambian en su valor absoluto.

Ahora, en cuanto al automovimiento de la materia ¿ Cual es el primer principio de éste, si nada ni nadie puede ser causa eficiente de si mismo, es decir; de donde surgió ese movimiento propio de la materia, si ningún tipo material puede darse a si mismo la existencia, porque el nacimiento de las realidades es imperceptible a ellas mismas; y además porque de la nada, nada se hace ?

Que la materia es eterna, se puede pensar en las características de la eternidad que son: Carencia de tiempo, porque en la eternidad no existen el pasado, ni el futuro sino el presente en un acto permanente. Que no haya principio ni fin y la inmutabilidad. Desde luego, se puede desprender de ésto que la materia no cumple con ninguno de los caracteres de eternidad. Porque en la materia hay tiempo (tiempo es la medida del movimiento) y por lo mismo mutable.

II.3.- La Segunda Ley Dialéctica.- Esta ley, que Engels colocaba en primer lugar en su tabla de leyes de la naturaleza -Ares Somoza, obra citada, pp. 101-108- es sin duda dependiente de la primera ley. En efecto, en la naturaleza todo objeto va cambiando, y ese cambio consiste en una acumulación de pequeños cambios cuantitativos, es decir; los que Aristóteles llamaba accidentales. En cierto momento, debido a esa acumulación continua se colma la "medida" del objeto y se produce el "salto" apareciendo una nueva cualidad o un nuevo objeto. De este modo,

dice Kedrov: rebajando una mesa con mi cuchillo, quitándole pedazo a pedazo, termino convirtiéndola en un banquito. Lo mismo en el caso del montón de granitos de trigo, en que quitando granito a granito, dicho montón desaparece, o el caso inverso, en que juntándolos de uno a uno, aparece pronto el montón. Se puede decir que: es evidente que todo esto no tiene ninguna importancia aplicado a la naturaleza. Es una cuestión totalmente mecánica, no hay cambio profundo; en ambos casos es una cuestión de simple apreciación. No hay reflejo de ninguna contradicción en el seno de la realidad.

La vida y la muerte, dice Lenin, es un buen ejemplo. Pero decir que la vida lucha con la muerte es un sofisma, porque la muerte no es algo real hasta que el ser concreto ha muerto efectivamente.

Y desde el punto de vista dialéctico, se podría preguntar:

|        |           |
|--------|-----------|
| Vida   | Tesis     |
| Muerte | Antítesis |
| ¿      | Síntesis  |

Si todo procede por la tríada dialéctica, ¿ Cual es la síntesis ? porque ya que se trata de una explicación coherente del universo, es cuestión de no olvidar el empleo de alguna tesis fundamental.

Los pies helados y la cabeza caliente, es asimismo un ejemplo de contradicción en la realidad, sin advertir que lo contradictorio "en el seno de la realidad" sería que los pies (mismo espacio concreto localizado) estuviesen al mismo tiempo helados y calientes.

Sigue diciendo Ares Somoza, op. cit., pp. 103-104; que para defender esta ley de los cambios cuantitativos como reflejo de la contradicción, la dialéctica apela siempre en última instancia, a lo que considera sus dos grandes ejemplos:

a.- El cambio del agua en vapor.

b.- La teoría de Darwin.

El ejemplo clásico desde Engels y que Lenin recoge cuidadosamente como prototipo del cambio cuantitativo, es el de la transformación del agua que pasa del estado líquido al gaseoso.

Se dice que al ver como aumenta la temperatura, el agua se va calentando paulatinamente hasta que de pronto es producido el salto y hay una conversión en vapor. Para el dialéctico éste es un ejemplo evidente de como el aumento de algo gradual y cuantitativo origina la aparición (en este caso) de una nueva cualidad. Porque para la dialéctica el estado líquido y el gaseoso son cualidades. Y tiene razón, pero se podría preguntar ¿ Por qué no dice que también la temperatura es una cualidad ? ¿ En qué se basa para afirmar que es cantidad y no cualidad ?

El sofisma consiste en tomar el ejemplo inicialmente desde el punto de vista científico y luego (cuando el agua llega a los 100 grados y entra en ebullición) desde el punto de vista del hombre común, sin ideas a priori de tipo experimental.

No se ve que haya cambio dialéctico porque la temperatura es ya una cualidad del agua. No hay paso de la cantidad a la cualidad.

Y menos, dice Sartre, hay cambio dialéctico (Sartre, *Materialismo y Revolución*) "el agua se evapora, se condensa, vuelve a caer líquida en forma de lluvia, se incorpora a otros seres. Yo veo un ciclo -agrega- pero no veo ningún progreso, y éste es esencial para que haya dialéctica. El paso del estado líquido al gaseoso no significa la aparición de nada realmente nuevo en el universo."

En cuanto al darwinismo, dice Sartre -comentándolo Somoza- es conocido el pensamiento de Engels, quién creyó haber encontrado en dicha hipótesis, la prueba irrefutable del materialismo dialéctico. Engels dijo que "Las ciencias de la naturaleza han probado que la naturaleza procede dialécticamente y que no se mueve en un círculo eternamente idéntico que se repetiría sin cesar, sino que participa de una historia real". Y agrega Engels que "Darwin ha infligido un rudo golpe a la concepción metafísica demostrando que la naturaleza es el producto de un proceso de desarrollo que dura desde hace millones de años".

Ares Somoza sigue diciéndonos que al margen de lo difícil que resulta conciliar esta afirmación de Engels con la tesis dialéctica de la eternidad de la materia, Sartre agrega que: "Darwin jamás pensó en defender una tesis dialéctica. Su tesis es estrictamente científica y no filosófica". En efecto, Darwin sostiene en primer lugar que la lucha por la vida hace triunfar al más fuerte sobre el más débil, que es eliminado.

Esto es lo contrario a la tesis hegeliana-marxista, que sostiene que en la síntesis se supera la oposición tesis-antítesis pero no destruyendo completamente lo "viejo", sino conservando lo mejor que tenía.

Además, para Darwin los contrarios no se unen, afirma Sartre, así pues no hay suficiencia filosófica sino científica.

II.4.- La Tercera Ley Dialéctica.- En concordancia con las leyes de la dialéctica que hemos citado -Ares Somoza, op. cit., pp. 109-112- todo se origina en las contradicciones y el salto se produce por la acumulación de pequeños cambios cuantitativos que lo preparan; la dialéctica expresa la tercera ley que afirma como una realidad: "La negación de la negación".

Esto significa que siempre que se produce una síntesis por superación de la oposición tesis-antítesis, aparece un nuevo ser. A la síntesis se le llama siempre negación porque ese nuevo ser apareció como negación de uno anterior que desapareció. Al desaparecer este último, que era negación de uno anterior y aparecer una nueva síntesis (otra negación) se produce la negación de la negación.

Los teóricos del materialismo dialéctico comenzaron a preguntarse que iban a hacer con esa tercera ley que dice que siempre, constante e irremisiblemente, van apareciendo cosas nuevas y que a una síntesis siempre le sigue otra que la supera.

La preocupación tenía fundamento porque era evidente que si la dialéctica estaba en la esencia de todo, también tendría que estarlo en el corazón del régimen ruso. Lo lógico era admitir que al Estado Comunista, a su vez, también le llegaría su negación de la negación.



Esto no lo podían admitir por cuestiones de supervivencia pero la objeción era clarísima. Si desde la eternidad la dialéctica es constitutiva de todo cuanto existe y hace que todo absolutamente cambie (dialéctica es evolución y progreso ininterrumpidos). ¿Cómo explicar que no iba a hacer pasar al comunismo hacia un estadio mejor? Era un problema prácticamente insoluble.

Fue Stalin quien buscó una fórmula, y dijo: "Hay que distinguir entre contradicciones antagónicas y no antagónicas" (Stalin, Cartas sobre Lingüística). Las primeras se dan en la sociedad burguesa, y las segundas sólo en la sociedad socialista. En ésta, los cambios no se producen por saltos bruscos, sino por evolución suave y lenta."

De esta manera Stalin quería convencer de que había en realidad dos clases de dialéctica (?). Pero la verdad es que una contradicción es contradictoria o no es nada. Decir que puede ser o no antagónica y no explicar que es lo que se quiere decir, no tiene valor explicativo.

Hablar del salto como algo suave y lento cuando siempre se dijo (de acuerdo a la imagen que corresponde al hecho físico de saltar) que era violento y rápido, y agregar que a veces puede ser violento y a veces suave, es confundir los conceptos.

Se puede hacer la siguiente pregunta: ¿En qué sector de la naturaleza se han descubierto donde ya no hay contradicciones violentas y antagónicas? (A. Somoza).

III.- UNA INVESTIGACION COSMOLOGICA DE LA METALURGIA  
EN EL REALISMO CRITICO.

Creemos poseer ahora los recursos intelectuales necesarios para realizar un análisis cosmológico sobre la Metalurgia, lo verifico en el Realismo Crítico; con el objeto de no desubicarme fuera del equilibrio. Porque si lo efectúo en el Idealismo podría negar la existencia del metal en su objetiva realidad. Por otra parte, su ejecución dentro del Materialismo; de igual manera, caería en el peligro de la apreciación puramente sensible del metal. Por lo tanto y guardando el orden y equilibrio requeridos en estos estudios especulativos, centraré la realidad fenoménica de la Metalurgia en el Realismo Crítico.

Esta fundamentación Realista-Crítica es exigida por razones de estabilidad (equilibrio) porque se desenvuelve en medio de las concepciones ideales y materiales, sin negar ninguna de las dos, sino conjugándolas acertadamente para llegar a la verdad.

III.1.- Análisis de la Expresión: La Metalurgia es el Arte  
más Viejo y la Ciencia  
más Nueva.

Dividiremos el estudio del análisis de esta expresión, de la siguiente manera:

- I ) Concepto de Metalurgia.
- II ) Concepto de Arte.
- III ) Concepto de Ciencia.
- IV ) Concepto del Tiempo.

I ) Si buscamos en libros técnicos o de metalurgia, la definición de ésta, leemos: "Metalurgia es la ciencia que trata de la producción de los metales a partir de los minerales, siendo la extracción realizada en plantas metalúrgicas".

En los diccionarios y algunos textos técnicos, se lee:

"Metalurgia es el arte y el conjunto de técnicas para la extracción de los metales de sus minerales".

II ) Concepto de Arte.- El arte es la expresión externa de lo bello, y podemos decir que bellas artes son el esplendor de la forma sobre las partes proporcionadas de la materia y sobre las diferentes fuerzas y acciones en la expresión externa del ideal del artista.

La integridad, la proporción y el esplendor; son los elementos constitutivos de la belleza.

La belleza es el resplandor de la bondad intrínseca de la obra de arte, cuya mera contemplación produce puro deleite (placer estético) y amor. Un objeto es más bello cuanto más perfecto es.

III ) Concepto de Ciencia.- Ciencia es un sistema de verdades razonado, generalizado y cierto. Nos explicamos: Sistema de verdades, es decir; conjunto de principios y conclusiones sobre determinado tema, que nos permiten conocer lo que en él hay de verdad.

Sistema de verdades razonado.- El conocimiento científico difiere del conocimiento vulgar, en que éste último sólo se da cuenta del hecho, mientras que el conocimiento científico estudia las causas.

La ciencia es un sistema de verdades razonado y generalizado.- Porque la ciencia no se contenta con el estudio de fenómenos particulares, sino que los generaliza, extendiendo sus conclusiones a todos los de la misma naturaleza.

No hay ciencia de lo particular, la ciencia es un sistema de verdades razonado, generalizado y cierto, vamos a explicar esto último (cierto): La investigación científica aspira a que sus conclusiones vayan acompañadas de certeza. Y si acepta la hipótesis (suposición) es como cambio para llegar a la certeza.

IV ) Concepto del Tiempo.- El tiempo se define como la medida del movimiento. El tiempo (es una categoría cosmológica), para algunos físicos y matemáticos: el tiempo es la cuarta dimensión. En filosofía: el tiempo es la medida de la sucesión de

actos. El tiempo se distingue en: Concreto y abstracto, el tiempo concreto es el tiempo vivido, y el tiempo abstracto es el que existe en si.

Los elementos del tiempo son: Pasado - Presente - Futuro. El tiempo no se puede concebir sin el movimiento y resulta de distinguir los progresos o fases del movimiento en cuanto se suceden los unos a los otros. El tiempo, es pues; una especie de número. El tiempo no es número discontinuo sino continuo y en marcha.

Hay que hacer la distinción entre tiempo y duración. La duración es la permanencia en el ser, haya o no sucesión. El tiempo implica la sucesión, el tiempo puede ser más o menos rápido, según la rapidez del movimiento vivido por el ser.

El único tiempo que existe es el presente, porque el pasado ya no es; y el futuro todavía no es. El tiempo tomado en su totalidad, no existe realmente, sino por el entendimiento que mediante la memoria conserva el pasado y por la previsión anticipa el porvenir.

El presente del ser que dura, es en efecto, pasado acumulado y al mismo tiempo, futuro potencial. El tiempo presente es como un límite que se mueve entre el pasado y el porvenir.

Por lo que toca a nuestra investigación, la Metalurgia es el arte más viejo y la ciencia más nueva, obviamente hay un pretérito y un presente que se proyecta al porvenir. Y parece indudable que en función del tiempo hubo un progreso entre arte original y ciencia progresiva, lo que en realidad es una identificación (como lo veremos).

No es que el arte ya no esté presente en la actividad metalúrgica y que la ciencia jamás haya asistido a nuestros primeros artesanos y guerreros (simplemente, efectuaban el templado de sus herramientas bélicas como espadas, atravesando el cuerpo de sus esclavos o prisioneros de guerra).

Ya que contamos con la información conceptual de los elementos de nuestra expresión, procederemos a apuntar las relaciones siguientes:

- I.- Relaciones existentes entre Arte y Ciencia.
- II.- Relaciones esenciales entre Metalurgia y Arte.
- III.- Relaciones de origen entre Metalurgia y Ciencia.
- IV.- Relaciones substanciales entre:

Metalurgia - Arte - Ciencia.

I.- Relaciones existentes entre Arte y Ciencia.- Entre el arte, cuyas reglas practicamos, y la ciencia, de la cual tomamos los principios, puede establecerse la diferencia, diciendo que un modo gramatical es propio de las conclusiones científicas, y otro modo de las artísticas. La ciencia enumera sus conclusiones con el modo indicativo, mientras que el subjuntivo es el característico del arte: la ciencia dice siempre, es; el arte, sea. La ciencia, conoce; el arte, hace.

La relación lógica entre la ciencia y el arte, puede establecerse, diciendo que el arte se propone un fin que se desea alcanzar; define dicho fin y se lo entrega a la ciencia, la ciencia lo recibe, lo considera como un fenómeno o efecto que debe ser estudiado, e investigando sus causas y condiciones lo devuelve al arte como un teorema de las causas y combinaciones, mediante las cuales podría ser alcanzado o producido.

Examina entonces el arte estas combinaciones de circunstancias, y según están o no en el poder humano, declara si el fin deseado es o no realizable. Por lo tanto, la única premisa que presenta el arte es la premisa original mayor que afirma que la realización de un fin dado es deseable.

La ciencia entonces envía al arte la proposición obtenida por una serie de deducciones e inducciones, de que la ejecución de ciertos actos conducirá a la consecución del fin. De estas premisas, deduce el arte que la realización de estos actos es deseable, y encontrándolos también realizables.

Convierte el teorema en reglas o preceptos. Los fundamentos pues, de toda regla de arte se encuentran en los teoremas de la ciencia.

Todo arte supone la selección de la parte necesaria de la ciencia para averiguar de que condiciones dependen los efectos que desea producir; el arte en general se apodera de las verdades de las ciencias ordenadas del modo más conveniente para la práctica, en lugar del orden más propio para la inteligencia.

La ciencia agrupa y ordena sus verdades de manera tal, que nos permita hasta donde sea posible, formar una idea del orden general del universo; el arte, aunque obedece a las mismas leyes generales, las sigue únicamente en aquellas de sus consecuencias que llevan a la formación de reglas de conducta, y toma de los campos más distantes de la ciencia las verdades relativas a la producción de las causas diferentes y heterogéneas necesarias para los distintos efectos que desea y necesita producir según las exigencias de la vida práctica.

La ciencia pues, consiste en conocer; el arte en hacer. Lo que debo hacer para conocer, es arte subordinado o concerniente a la ciencia. Lo que debo saber para hacer, es ciencia subordinada o concerniente al arte.

Son por lo dicho, el arte y la ciencia dos hermanas inseparables: Toda ciencia supone un arte; todo arte implica una ciencia la ciencia de la cual no naciera un arte, no sería tal ciencia.

Las matemáticas, por ejemplo: son una ciencia, la topografía es un arte científico; dieron las matemáticas los principios el arte tomó lo que juzgó necesario y formó un cuerpo de reglas para medir los campos.

Así, podemos decir; la metalurgia física da los principios porque es ciencia, el hacer una buena metalografía es arte; por el cuerpo de reglas que involucra para su correcta ejecución.

II.- Relaciones Esenciales entre Metalurgia y Arte.- Decimos que la Metalurgia Física es ciencia (porque investiga y conoce) y la Metalografía es arte científico (porque investiga y hace) y podemos decir, en general; que entre la Metalurgia y el Arte Científico existe una relación íntima, sobre todo: en la Metalurgia Experimental.

III.- Relaciones de Origen entre Metalurgia y Ciencia.- La

Metalurgia y la Ciencia tienen idéntico principio u origen, puesto que, con el sólo hecho de preguntarnos para que nos sirve la Metalurgia, en sentido estricto: ya estamos haciendo ciencia. Sobre todo, se aprecia este nexo; entre Metalurgia y Ciencia: en la Metalurgia Teórica.

#### IV.- Relaciones Substanciales entre Metalurgia - Arte -

Ciencia.- Como consecuencia de todo lo visto, la Metalurgia es Arte (ver relaciones entre Arte y Ciencia) y es Ciencia (por sus principios).

Esto, lo observamos: la Metalurgia Teórica o Científica en el aula de clases. La Metalurgia Experimental en el laboratorio o conjunto de reglas para hacer bien las prácticas (Arte científico).

V.- Conclusión.- La Metalurgia no es el Arte más viejo, ni la Ciencia más nueva; sino que la Metalurgia es Ciencia ( por el origen ) y es Arte ( por esencia ); excluyendo el pretérito y permaneciendo en el presente.

La Metalurgia es Ciencia porque conoce y es Arte porque hace.

El artesano va del Arte y hace Ciencia (cuando se pregunta como mejorar su producción artística, que elementos adicionar, temperatura del horno, tiempos, etc. y no lo sabe).

El científico va de la Ciencia y hace Arte, (cuando su experimentación es bien hecha) y con frecuencia no lo sabe.

### III.2.- COSMO-VISION METALICA.

Comprenderemos los siguientes puntos:

1.- La existencia del principio formal.- No basta el principio material sobre la concepción del metal ( porque nos saldríamos del equilibrio), también reclaman la experiencia y la razón un principio substancial, formal y dinámico, para explicar la unidad, fijeza y actividad de la naturaleza metálica.

En orden a los cuerpos inorgánicos, los fenómenos cristalinos, especialmente, parecen una confirmación de la realidad crítica; de la existencia del principio formal.

Obedece el cristal a una ley que de tal modo agrupa y ordena sus moléculas conforme a un tipo específico tan invariable que si los ángulos de un cristal se rompen, infaliblemente se reparan según el tipo constante.

¿ Esta energía interna no podrá llamarse el principio substancial y formal ? Sabios de alto prestigio no se afrentan de acudir a él.

La Cristalografía parece dar la razón, escribe de Lapparent a las cuestiones formales de la realidad. Bien estudiadas las propiedades de los metales; hay que llegar a dos principios irreductibles: los mismos fenómenos de la cantidad revelan la existencia de un principio substancial formal.

Dice Duhem en su "Evolution de la Mécanique" que: Obligados nos vemos a recibir en nuestra física algo más que los elementos cuantitativos del geómetra, hay que admitir también calidades, hay que admitir, como calidad primera irreductible, aquel principio en virtud del cual un cuerpo se llama cálido, luminoso, electrizado e imantado. (E. Hugón)

2.- El cambio y la ley de permanencia.- Existe un hecho universalmente repetido que no puede ser negado sin negar el mundo que nos rodea y negarnos a nosotros mismos; El cambio, existe en los estados de los cuerpos, en sus composiciones químicas ese cambio de los seres y de su conjunto forma el movimiento y la sucesión, que se mide por el tiempo.

Dice el sabio Vázquez de Mella, su ley: "Todo cambio supone algo que no cambie, y por tanto que permanezca".

Nos explicamos, el cambio supone un elemento permanente y



otro variable (si no, no habría cambio), y como esos elementos no pueden ser independientes y se necesitan mutuamente, tienen que existir de dos maneras diferentes en todos los seres que cambian. De aquí se deduce el concepto de substancia y de accidente.

3.- Tres teorías sobre la substancia metálica.- No hay medio entre estas dos maneras de existir: Existir en si mismo, es decir sin dependencia de otro sujeto que le sustente, o existir inherente a otro sujeto. Al ser permanente y no inherente se le llama substancia, y al que existe con inherencia, accidente.

Los dos con sus relaciones, se reparten el universo. Porque nada existe que no esté comprendido en ellos; para explicar esa antítesis no puede haber más que tres teorías:

La Primera dice: Negación de los accidentes reales en los metales, es decir; negar el color, lustre, dimensiones, dureza, y propiedades mecánicas de los mismos.

La Segunda: Negación de las substancias, por no admitir más que sumas de cualidades sin sujeto, es decir; negar que algún metal exista.

La Tercera dice: Afirmación de la substancia y del accidente en ella, es decir; que exista la substancia permanente del metal aunque se le cambien sus accidentes, como la forma; es lo que ocurre en la laminación o forjado.

La Constatación de estas teorías, que se deducen a priori son las únicas hipótesis posibles, y las demuestra la historia a posteriori.

Para negar los accidentes, hay que negar las propiedades y las mudanzas de los metales, en cambio; para negar las substancias metálicas, hay que negar toda individualidad; empezando con la nuestra. Por tanto: todo accidente supone una substancia.

4.- El número de las substancias metálicas.- Existe la substancia con sus accidentes, pero ¿ Existe una sólo que tiene a las demás como determinaciones o accidentes, o existen muchas subjetivamente independientes ?

Si existiera una única substancia no habría diferencias es-

pecíficas entre los minerales y no los distinguiríamos y realmente existen muchas, pero objetivamente independientes, aunque dependientes en cuanto que son especímenes mineralógicos.

5.- Relaciones de las sustancias metálicas entre si y con los accidentes.- Las relaciones naturales de las sustancias metálicas entre si pueden reducirse a éstas, que son las principales: 1o.- Unión de sustancias metálicas completas o incompletas tan íntima, que formen una tercera con accidentes diferentes de las unidas, como sucede en los diagramas de fase.

2o.- Transformación de las sustancias, entendiendo por ella la adquisición y la pérdida sucesiva de accidentes que las modifiquen.

3o.- Conversión de una sustancia en otra, transformación más honda, haciendo que pierda su modo de ser primitivo y reciba el nuevo, como en la asimilación, pero permaneciendo de alguna manera las dos sustancias convertidas, y es, por tanto incompleta.

¿Cuáles son las relaciones con los accidentes? Con decir que los accidentes son las entidades que para ser necesitan un sujeto al que estén inherentes, no se dice bastante, porque difieren por la estabilidad, por el origen y por la forma de inherencia.

Sobre las divisiones subalternas y menudas que enturbian más que aclaran, porque alejan de la unidad, existe un punto de vista que sirve para clasificarlos objetivamente: el que sean estables o mudables, los que acompañan siempre a la sustancia, o los que sólo la afectan y cambian como frío, calor, dureza, color, etc. y prescindiendo de los atributos y las propiedades que de ellos se derivan y que se refieren a la esencia, los más estables son los llamados con razón absolutos, la cantidad o extensión y la cualidad, que sólo varían en grados; la primera en las sustancias materiales y la segunda en éstas y en las que no lo son.

Los inestables, relativos o modales suponen los absolutos, a los que están inmediatamente inherentes; por lo que son en

realidad accidentes de accidentes. Los absolutos son naturalmente, nótese bien, inseparables e insustituibles, y los relativos que pasan y cambian, no.

El origen es triple: los absolutos son connaturales a la substancia, los demás son modificaciones causadas por otras sustancias, o producidos por la substancia misma cuando es actualizada por una acción externa.

6.- Inherencia de los accidentes metálicos.— La inherencia es la nota esencial del accidente, todos los accidentes absolutos y modales están sujetos al cambio, efecto de la fuerza, pues aún los más permanentes tienen grados, siendo esto evidente, del concepto dinámico del accidente resulta que éste es una especie de efecto inmanente en su causa substancial, aún el causado por otra substancia en cuanto permanece en la afectada.

Pertenece a aquellos efectos que no pueden separarse de su causa, porque; además de ser producidos por ésta, necesitan que los conserve. Luego, la inherencia en vez de la adhesión material al sujeto, será una dependencia dinámica inmediata cuyo fundamento está en la acción que irradia la actividad de las sustancias. El accidente no puede existir sin esa inherencia, porque, si existiera sin ella, sería substancia o sería nada. (Vázquez de Mella).

7.- Tipos de conversión natural.— A tres grupos pueden reducirse las conversiones naturales y que todos podemos observar:

- A ) Por incorporación, cuando una substancia desaparece como substancia para convertirse en accidente o parte de otra, como sucede en las vitaminas y minerales que se cambian en nuestro organismo en los tejidos (transformación).
- B ) Por combinación, cuando dos sustancias diferentes forman una tercera con propiedades diversas de los componentes (combinaciones químicas).
- C ) Por sustitución sucesiva, cuando una substancia expulsa a otra y ocupa su lugar, conservando accidentes análogos, como en la petrificación.

8.- Leyes de la conversión natural.- Las leyes que la rigen son también tres:

- A ) Que las sustancias sean del mismo orden, porque si fuesen de órdenes diferentes, como la materia y el espíritu; el cambio no sería de sustancias sino de esencias, y éstas son invariables.
- B ) Que la materia de las dos sustancias naturales permanezca de alguna manera después de la conversión, ya como accidente o parte de otra o de otras; pues sus elementos no desaparecen
- C ) Modificación recíproca de las sustancias convertidas. Ni en la incorporación, ni en la combinación, ni en la sustitución; pueden permanecer sin sufrir alteraciones.

### III.3.- ONTO-GENESIS METALICA.

La onto-génesis metálica es el estudio del origen de la naturaleza material metálica, también se le puede denominar: la Génesis Cosmológica en Metalurgia.

¿Cuál es el origen de la naturaleza metálica en el tiempo y en el espacio ?

- 1 ). Es obvio, que de la nada (carencia absoluta de ser), nada se hace, es decir: que del no-ser surja así como así el ser. Porque precisa y exactamente es nada.
- 2 ). Absolutamente ningún ser es causa eficiente de su propia existencia, es decir: que ningún ser material se pudo hacer a si mismo, y la experiencia nos da la razón; el autor de este estudio, no se hizo sólo, el cuadro que estoy admirando no se hizo a si mismo, ni el árbol, y el metal tampoco; porque ni siquiera pensamiento tiene. Los planetas, no se hicieron sólo, puesto que ni siquiera conciencia tienen de su existencia.
- 3 ). Luego, recordando el principio de causalidad ( que no hay efecto sin causa ) podemos inferir que: todo lo material, incluyendo al hombre; son seres causados.

## R E C O N O C I M I E N T O S

La Gratitude es la correspondencia del bien con el bien. Y el bien es lo difusivo en si en beneficio del que lo recibe.

Con Sincera Gratitude, dedico este modesto esfuerzo a :

- . La Realidad Infinita, Principio y Fin de todas las cosas.
- . La que es Modelo acabado de toda perfección.
  - A la sabiduría práctica de Antonio, mi padre; quién templó mi carácter en la fortaleza y en la orientación de toda mi superación.
  - La presencia bondadosa y ejemplar de Ma. Concepción, mi madre; quién edificó en mí el anhelo de bien.
  - Los que por su ejemplo, ayuda constante y perseverancia en el conocimiento, representan para mí: Los ideales a seguir siempre. A mis hermanos: Antonio y Roberto.
  - Al magnánimo en toda virtud, maestro de maestros, profundísimo sabio y preceptor: Dr. P. Carlos García Salazar.
  - Todos y cada uno de mis familiares, en la permanencia del afecto.
  - A todos y cada uno de mis amigos, a quienes considero, como: Otro yo en el tú.
  - Las personas integrantes de la enseñanza en la Facultad de Química.
  - A mi muy grata Universidad Nacional Autónoma de México.

MUCHAS GRACIAS