

## SIDERURGIA:

*Este apunte sirve de guía para estudiar la 1er parte de la unidad 2. No esperamos cubrir todos los aspectos, ni profundizar en ellos porque eso lo verá en "Conocimiento y ensayo de materiales" de 2º año.*

*Partiendo del hecho de que esta es una materia integradora, pretendemos que, desde 1er. año tenga una idea de cómo se obtienen y comercializan estos productos, como también las posibilidades que ofrecen para los proyectos donde se usan.*

*Se sugiere que lo estudie y consulte dudas con los miembros de la cátedra. Puede ampliarlo recurriendo a la bibliografía recomendada al final, u otros textos de biblioteca.*

*El siguiente, es el temario del programa de la materia.*

**Fabricación de hierro y derivados. Obtención del arrabio. Altos hornos. Obtención del acero, convertidores. Trenes de laminación, trefilado. Presentación comercial de productos siderúrgicos.**

### FABRICACIÓN DE HIERRO Y DERIVADOS:

Siderurgia viene de sideral: "relativo a los astros" y se debe al descubrimiento del hierro en meteoritos. Su presencia en ellos deriva de que los meteoritos son parte de planetas destruidos, y, precisamente, el núcleo terrestre es una bola de hierro y níquel de 6.800 km de diámetro.

#### **Revisión histórica:**

¿Alguna vez se preguntó que haría si de un día para el otro **desaparecen** todos los productos que consume? ¿Cómo podría vivir del mismo modo, pero autoabasteciéndose? ¿Cómo hacer fuego sin fósforos,... alguien sabe? Recuerde que será ingeniero.....¿Podrá rehacer todo lo que conocía y usaba?

Generar electricidad, producir materiales como el aluminio, hierro, combustibles, cemento, ladrillos, etc.

Creo que la mayoría iríamos a quebrar ramas de árbol para hacer una choza y recolectar frutas, a pesar de haberlo conocido todo. Digo quebrar porque tampoco quedarían hachas.

Si esto lo preocupa, entenderá porqué resulta interesante saber como se logró fabricar hierro y acero en la antigüedad.

El hombre conoció el hierro meteórico y lo usó limitadamente, por su escasez, y, en su estado natural. Conocía la metalurgia del oro, el cobre y el bronce, siendo ésta última un gran avance ya que se trata de una aleación de Cu y Sn. La edad del bronce comenzó entre 3000 y 2500 a.J.C.

El hierro se comienza a procesar más tarde, por las temperaturas que requería. Las piezas más antiguas halladas datan del 1400 a.J.C. , en la zona sur este del Mar Negro, en tierras de Armenia y parte de Anatolia.

Se atribuye a los hititas y en particular a la tribu de los calibios, haber sido los primeros en obtenerlo. Se duda cual de ellos poseía el conocimiento, porque los hititas constituían un imperio que dominó a los calibios y no se sabe quién le enseñó a quien, o, si el imperio se apoderó de este saber, pero, no hay dudas de que los expertos herreros eran los calibios, a tal punto que su nombre impuesto por los griegos es *chalib= acero*. Igualmente, en todo el imperio se trabajaba el hierro.

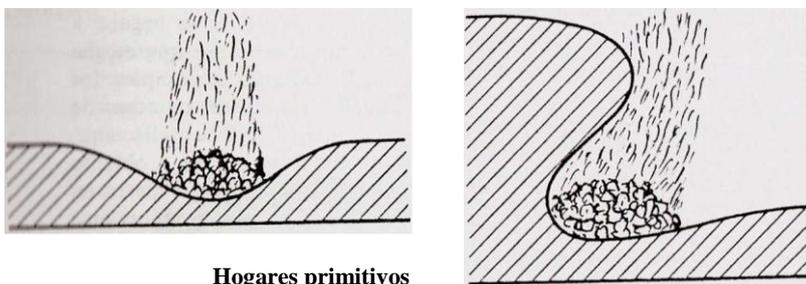
Los hititas mantuvieron la exclusividad durante 200 años, hasta su derrota, en el 1200 a.J.C.

A pesar de ser pueblos guerreros mantenían un comercio activo con quienes tenían buenas relaciones, como egipcios, fenicios, sirios y sumerios y se sabe que el nuevo metal, era objeto de negocio. Aclaremos que no llegó a ser un producto de uso masivo, se trataba de algo especial.

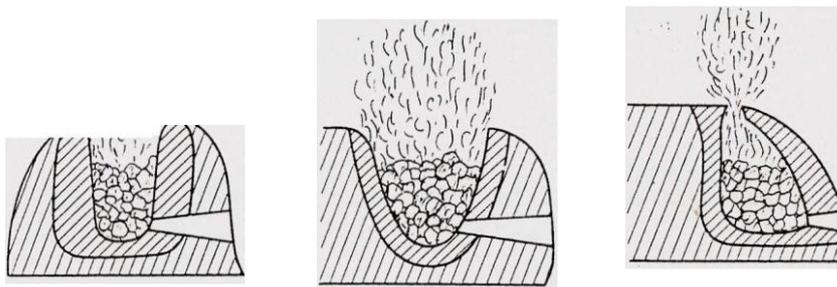
El valor relativo era: 1 g de Fe = 5 g Au = 40 g Ag = 2.400 g Cu

Para fabricarlo usaban pequeñas cavidades en el suelo en las que hacían un buen fuego y luego cargaban capas alternadas de mineral y carbón vegetal. Más adelante, revistieron sus paredes con arenisca (roca sedimentaria) y luego con una capa de barro o arcilla ligada con raíces. Medían aprox. 800mm.

A través de agujeros pasaban cañas de bambú por las que soplaban, pero posteriormente las conectaron a fuelles de piel animal que pisaban para insuflar aire. **No se lograba fundir.** Los hornos se instalaban en el suelo, pero, con el tiempo, se comenzaron a hacer contra un talud, o ladera, de modo que fue más fácil empezar a aumentar su altura.



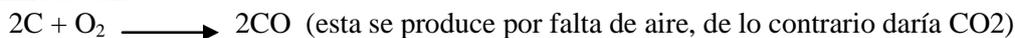
Hogares primitivos



Tres tipos de hornos primitivos, empleados en la antigüedad para la fabricación de hierro, partiendo directamente del mineral.

Las impurezas (ganga) quedaban incluidas y se obtenía entre 1 y 5 kg de hierro esponjoso después de 8 horas. La pureza mejoraba por la expulsión de escorias mediante martillado y las temperaturas logradas estaban entre 600 y 1.200°C con lo cual no se logra fusión, sino **reducción de óxidos**. Tener presente que el Fe funde a 1.539 °C, mientras que el Cu a 1.083, Au 1.063 °C.

Las reacciones químicas son:



El hierro esponjoso (pastoso) en caliente se martillaba (forja) logrando unir los trozos, siendo ésta una forma de soldadura, donde se conseguía una integración perfecta. En ocasiones se repetía el proceso lográndose mayor pureza en cada operación.

Estudiosos del tema investigaron los métodos de fabricación que emplean hoy, tribus africanas, de hábitos primitivos, y son semejantes a los de la antigüedad.

Después de la caída del imperio hitita, el uso del hierro se difundió rápidamente por el mundo antiguo, parte por el dominio y parte por la dispersión de los artesanos.

La producción en cantidades importantes se inicia en el 1000 a.J.C, y pronto el hierro superó al cobre y al bronce por su gran dureza, la abundancia de sus minerales y la posibilidad de forjarlo en caliente. Su defecto es la corrosión.

También data de la antigüedad el proceso de cementación por medio del cual el Fe incorpora C a temperaturas entre 925 y 1.110 °C, formando cementita ( $C_3Fe$ ), que es naturalmente dura y, que por medio de un enfriamiento brusco posterior, adquiere una dureza notable; esto es el temple, y, en él, la cementita se convierte en martensita. Es posible que este procedimiento fuera descubierto en Europa, por los celtas, en los años 600 a.J.C.

El proceso se hacía dentro de pequeños crisoles de cerámica o piedra del tamaño de un puño, en el que cargaban trozos de hierro procesado y carbón. Los crisoles se ponían al fuego y el producto obtenido era acero.

Con el tiempo mejoraron las técnicas, en todas partes y en forma independiente. Pero llama la atención que durante la edad media en Europa, no sólo no se avanzó, sino que retrocedieron y hasta “olvidaron” cosas ya sabidas, que fueron redescubiertas recién en el siglo XIV.

El auge del Fe vino junto con la revolución industrial, donde su demanda crece y la industria dispone de mayor capacidad de fuerza y temperatura, hornos de gran tamaño, etc..

Es importante nombrar a Bessemer, que en 1856 inventó el “convertidor”, que permite obtener acero, a partir del hierro colado, en grandes cantidades. Este, sin duda, fue el gran salto productivo.

### Productos siderúrgicos:

Los productos siderúrgicos son hierro, arrabio, acero y fundición. Contienen carbono en distinta proporción. Además pueden tener otros elementos para mejorar sus propiedades, o, en calidad de impurezas.

El **hierro** puede tener hasta un **0,06 % de C**.

El **arrabio** tiene entre **3 y 4 % de C**.

El **acero** tiene entre **0,06 y 1,7 % de C** .1,7 es el límite físico, pero algunas normas consideran acero hasta 2% y, en ocasiones 2,3%.

La **fundición** tiene entre **2 y 6,6 % de C** (pero normalmente entre 2 y 4,5 %).

Las materias primas son minerales y chatarra. También se consume coque y los fundentes, o formadores de escoria, que son piedra caliza y dolomita (CO<sub>3</sub>Ca y CO<sub>3</sub>Mg)

### Minerales:

Los principales son hematita, magnetita, limonita y siderita, la tabla resume sus propiedades. La pirita S<sub>2</sub>Fe, pirrotina y la calcopirita S<sub>2</sub>CuFe no figuran en ella pero también se explotan. La presencia de azufre los descalifica por ser este elemento, un veneno para el acero, ya que, junto con el fósforo le dan fragilidad.

**Principales características de los minerales de hierro**

| Denominación | Fórmula  | Riqueza de Fe (%) | Peso esp. kg/dm <sup>3</sup> | Color más común |
|--------------|--|-------------------|------------------------------|-----------------|
| Magnetita    | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                       | 72,4              | 5,0                          | Negro gris      |
| Hematita     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | 70,0              | 4,9                          | Rojo            |
| Limonita     | 2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 3H <sub>2</sub> O | 60,0              | 4,5                          | Amarillo rojizo |
| Siderita     | FeCO <sub>3</sub>                                    | 48,3              | 3,7                          | Pardo           |

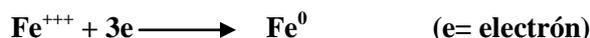
Un yacimiento se evalúa técnica y económicamente según:

1. Situación geográfica
2. Riqueza del mineral (ley)
3. Reservas del yacimiento
4. Composición y naturaleza de la ganga (impurezas)
5. Condiciones físicas (esp.la porosidad, porque a mayor N° de poros mejor reducción)
6. Contenido de S y P
7. Humedad y volátiles que contiene

Antes de ser cargados en los hornos sufren operaciones preparatorias que varían de un yacimiento a otro o de un mineral a otro. Su objetivo es aumentar la ley (% pureza) y la porosidad para favorecer la reducción en el horno. Aclaremos que se llama reducción al paso de un N° de oxidación alto a otro menor, en el caso del Fe presente en un óxido, su N° de oxidación puede valer +2 ó +3 y, en el horno se recupera Fe casi puro cuyo N° de oxidación es 0, porque se separó del O<sub>2</sub> con el que estaba combinado.

Eso es reducir.

Simbólicamente



La porosidad influye favorablemente porque la reacción requiere que el CO gaseoso atraviese el mineral, para poder reducirlo



El carbono es un excelente reductor. Concretamente reducir es recuperar puro o en estado elemental al elemento buscado (valga la repetición y con perdón de los químicos). Retomaremos el tema al tratar alto horno.

Es evidente que al romper el mineral se favorecen las reacciones por el aumento de la superficie de contacto y también se liberan impurezas, de manera que el tratamiento pasa por ahí.

- Extracción: voladuras, excavaciones, etc.
- Desmenuzamiento: quebrantación, trituración y molienda
- Cribado: homogeneización de tamaños
- Concentración: eliminar la ganga
- Aglomeración de los finos

Dos detalles a tener en cuenta:

-Es muy importante que las cargas al horno sean de tamaño uniforme, sino el rendimiento baja mucho.

-Los “finos” generados durante el desmenuzamiento son un capítulo aparte.

Siempre se los consideró perjudiciales, al punto de descartarlos, pero en los años '30, estudiando el tema se comprobó que aglomerados daban excelente resultado, debido a la homogeneidad de tamaño.

Desde entonces, los minerales se reducen a fino totalmente y luego se compactan. Además la productividad de las minas aumenta al 100% y también se recuperan los finos que escapan por la parte superior de los hornos, que es +/- un 7% de la carga.

En los cuadros que siguen se resumen estas operaciones y los equipos usados. Para las evaluaciones **deberá conocer uno de cada clase**, los puede encontrar en Vián – Ocón de ing. química.

TABLA 5.1. Principales operaciones mecánicas, métodos de concentración y de aglomeración que se emplean en la minería del hierro

|   |  |
|---|--|
| Operaciones mecánicas                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Arranque del mineral en la mina</li> <li>Machaqueo</li> <li>Trituración</li> <li>Molienda</li> <li>Cribado (clasificación por tamaños)</li> <li>Homogeneización</li> </ul>  |
| Métodos de clasificación y concentración de minerales | <ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación de calidades por gravedad en medio líquido } Tamaños medianos y finos</li> <li>Clasificación de calidades por flotación</li> <li>Clasificación de calidades en medio denso</li> <li>Lavado de minerales</li> <li>Calcinación</li> <li>Concentración por métodos magnéticos</li> </ul> |
| Aglomeración  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Briqueteado</li> <li>Nodulización</li> <li>Sinterización</li> <li>Pelletización</li> </ul>  |

Tabla 5.2. Principales instalaciones y procesos utilizados para la preparación y concentración de minerales

|  |  |  |
|--|--|--|
| Máquinas empleadas en las operaciones mecánicas de preparación | Machaqueo y trituración  | <ul style="list-style-type: none"> <li>{ De cilindros</li> <li>{ De mandíbulas (Blake)</li> <li>{ Giratorias (Gates, Symons)</li> <li>{ De martillo e impacto</li> </ul>   |
|  | Molienda (molinos)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>{ De bolas { Cilíndricos</li> <li>{ cónicos</li> <li>{ De barras</li> <li>{ Automolinos</li> </ul>  |
|  | Máquinas de homogeneización  | <ul style="list-style-type: none"> <li>{ Apiladoras</li> <li>{ Recogedoras</li> </ul>  |
| Instalaciones y operaciones de concentración y clasificación   | Instalaciones para la clasificación por tamaños de los trozos de mineral gruesos y medianos  | <ul style="list-style-type: none"> <li>{ Cribas fijas o vibratorias</li> <li>{ Tromeles</li> </ul>   |
|  | Instalaciones para la clasificación por densidades de los finos de mineral por gravedad en medio denso                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>{ Cribas hidráulicas</li> <li>{ Cribas de criba móvil</li> <li>{ Cribas de criba fija</li> <li>{ De sacudidas</li> <li>{ Rastrillos</li> <li>{ Espirales tipo Humphry</li> <li>{ Espiral clasificadora</li> <li>{ Espesadores</li> <li>{ Filtros</li> </ul> |
|  | Lavado de minerales  |  |
|  | Calcinación de minerales<br>Concentración por medios magnéticos<br>Concentración por flotación<br>Concentración en medio denso<br>Secado |  |

### **Aglomeración:**

Briquetado: consiste en prensar los minerales a temp. ambiente con o sin el agregado de un aglomerante. Tamaños apr. 70 mm.

Nodulización: se hace en hornos tipo cementeros, por efecto de la rodadura y la cocción a alta temp.. Se logra un producto de forma y tamaño semejante a una nuez.

Sinterizado: (importante) se mezcla mineral con agua y combustible, en caliente hay un principio de fusión con lo que se logra una masa porosa muy buena para la reducción, de tamaño entre 6 y 40mm. Se hace en fábrica..

Pelletización: (importante) Se carga mineral agua y un aglomerante en máquinas rotativas donde se hacen bolitas que luego se cocen y endurecen en un horno. Esto se hace en la mina. Tamaños de 6 a 36 mm.

### **Refractarios:**

Se trata de ladrillos, polvos y preparados especiales usados para la construcción de paredes, bóvedas, revestimientos, conductos y demás accesorios de los hornos. Estos materiales deben soportar las altas temperaturas que se desarrollan en los hornos, resistir la acción destructora de las aleaciones y metales fundidos, escorias y gases calientes de la fabricación.

**Se llama refractarios a materiales que resisten sin ablandarse, las altas temperaturas.**

La mayoría son cerámicos fabricados por cocción y están constituidos por óxidos de alta temp. de fusión, como son: la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y la magnesia ( $\text{MgO}$ ).

Se clasifican en 3 grupos según el tipo de óxido contenido.

Ácidos : sílice, sílico aluminosos (resisten las mayores temp., 1700°C)

Básicos: dolomía ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ), magnesia, cromo magnesia (sirven para minerales con S)

Neutros: cromo grafito

La elección del refractario depende de las temp y del tipo de mineral y la clase de escoria que produce. De hecho una mala elección conduce a su destrucción y los ladrillos son la vida del horno.

### **OBTENCIÓN DEL ARRABIO. ALTOS HORNOS:**

El arrabio es el producto obtenido por reducción de los minerales de hierro. Es un material intermedio usado para obtener luego acero o fundiciones. No es un producto terminado, porque contiene abundantes impurezas, y un exceso de C, por lo cual requiere un tratamiento posterior para convertirse en acero, por eso los hornos donde se produce el "afino" del arrabio, se llaman convertidores.

Los hornos para la producción de arrabio, tienen alturas entre 40 y 70 m, y por esa razón se denominan “altos hornos”.

Además del mineral se cargan coque y fundente, y se ingresa aire para la combustión del coque.

### **COQUE:**

El coque es un combustible muy importante para la siderurgia. Se usa en los altos hornos para:

- ❖ Calentar
- ❖ Soportar la carga
- ❖ Producir **CO** (monóxido de carbono)

**Sin CO no hay reducción.** También se usa para el calentamiento de los cubilotes empleados en la 2ª fase de la fundición.

El coque es un residuo sólido poroso, obtenido por destilación de las hullas semigrasas de llama corta con 22 al 26 % de materias volátiles. La coquización o destilación se produce en cámaras cerradas, donde los carbones son calentados hasta 900 – 1.250 °C sin contacto con aire.

Hasta el S XVIII, se usaba carbón vegetal que se obtenía carbonizando madera. Todavía se produce carbón vegetal para otros usos encendiendo una pila de ramas cubierta con barro. Su apariencia es similar a los hornos ladrilleros.

No todas las hullas son coquizables, y esto constituye un problema. La nacional, de Río Turbio, Santa Cruz, no es de muy buena calidad y muchas veces hemos recurrido a la importación de Brasil.

**Sugerimos a los alumnos investigar el estado actual de este problema, la situación de los Altos Hornos de Zapla, SOMISA y el aumento mundial de precios debido al consumo chino.**

Resulta interesante destacar que el costo del coque representa más del 50% del costo de las cargas, por eso el interés en reducir su consumo, el cual era de 1 tonelada por tonelada de arrabio producido, en 1950, y hoy es inferior a los 500 kg por tonelada.

Esta reducción se debió a:

1. Mejoras en la preparación del lecho de fusión mejorando su permeabilidad y aumentando el % de hierro en las cargas, y usando sinter, pellets y materiales prerreducidos (por Ej. calcinados)
2. Inyección de hidrocarburos líquidos o gaseosos en el orden de un 10% en peso del coque. Esto conviene simplemente por menor costo y disponibilidad. Uno es el fuel oil, otro el gas natural.
3. Con sistemas de recuperación de calor que permiten subir a 1.000 - 1.300 °C el aire inyectado, también con adición de oxígeno puro al aire y presiones de soplado del orden de 2,5 bar.
4. Uso de hornos más grandes.

El carbón vegetal no tiene azufre y el coque sí, por eso los aceros de la antigüedad en este aspecto superaban a los actuales.

La coquización de la hulla es necesaria porque no tiene suficiente resistencia para soportar el peso de las cargas, los impactos de la caída al interior del horno y la fricción contra las otras materias y paredes del horno. La hulla se disgrega, produce polvo y aparte genera alquitrán, que tapa los pasajes entre los trozos de carbón.

### **FUNDENTES:**

A pesar de que el mineral ya pasó un tratamiento preliminar, donde se reduce la ganga, siempre quedan impurezas unidas a él que deben eliminarse y que se concentran en la capa de escoria que sobrenada en el metal fundido. El fundente genera la capa de escoria, que, de no existir, todas las impurezas quedarían en el metal.

Las gangas del mineral no pueden por sí mismas producir escoria y si bien generalmente se usa piedra caliza o dolomita la elección depende del carácter ácido o básico de la ganga.

Otras funciones son:

- ✓ Bajar el punto de fusión de la ganga para que la escoria sea más líquida
- ✓ Reaccionar químicamente con las impurezas para arrastrarlas hacia la capa de escoria

**Mineral, coque y fundente constituyen las cargas del horno y se introducen por la parte superior.**

El sistema de carga debe ser hermético por cuanto escaparían al exterior gases, con la consiguiente contaminación, pérdida de polvo que contiene hierro, pérdida de calor y del poder calorífico residual del **CO**, que puede combustionar, dando **CO<sub>2</sub>** y más calor. Para eso se usa el sistema de “doble campana”, cuyos detalles constructivos y operativos encontrará en la bibliografía.

Los altos hornos, una vez encendidos funcionan sin parar hasta que requieren reparaciones.

En el alto horno se llegan a producir temperaturas de 1.650 °C con la cual aparecen gotas de hierro que descienden.

Cada 2 horas aprox. , se extrae la escoria por un agujero llamado piquera de escoria. La escoria sirve para elaborar cemento y para enripiado de calles y vías férreas.

Paralelamente, se procede al “sangrado” del horno que consiste en extraer metal por la piquera de arrabio. El metal fundido corre por las regueras y de allí hasta colarlo en las “cucharas” abiertas o cerradas para su transporte a la acería o bien para su vertido en moldes o lingoteras.

El problema del arrabio es su elevada cantidad de impurezas como Si, S, P y el exceso de C.

Los grandes altos hornos producen 10.000 toneladas día, los más pequeños 1.500.

### Instalaciones complementarias:

- Muelles para atracar barcos e inst. ferroviarias con sus correspondientes cintas, elevadores, grúas, silos, etc. En ellos se hace recepción de materias primas y despacho de productos.
- Instalaciones para acumulación, trituración, clasificación, sinterizado y carga de mineral
- Depuración de gases para su uso como combustible
- Estufas para calentar el “viento” (aire insuflado)
- Sopladores

## ALTO HORNO:

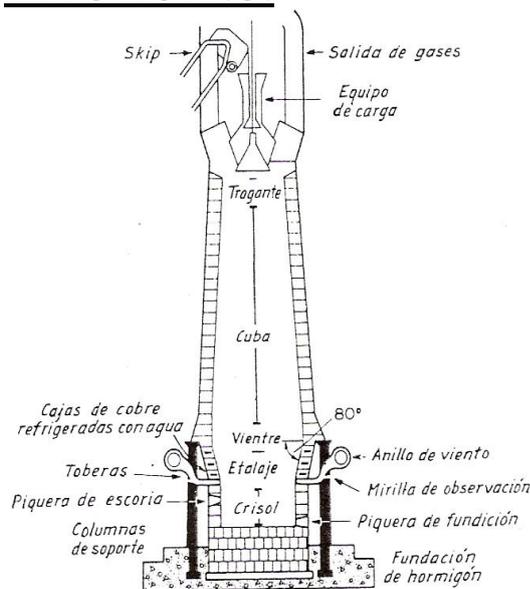


FIGURA 8.31  
Horno alto.

(W. H. Dennis)

La figura muestra las partes principales del alto horno. Ellas son:

- **Tragante**
- **Cuba**
- **Vientre**
- **Etalaje**
- **Crisol**

Se llama tragante a la zona por donde se cargan las materias primas.

Se llama cuba al cono truncado superior.

Vientre es la parte más ancha, donde se empalman los conos superior e inferior.

Etalaje es el tronco de cono inferior.

Crisol es la parte cilíndrica inferior donde se reúnen escoria y arrabio para separarse por densidad.

## FUNCIONAMIENTO:

Se carga por el tragante el mineral o sus aglomerados, el fundente y el coque. El aire caliente ingresa a presión por las toberas de la parte inferior. Actualmente, con miras a reducir el gasto de coque, en esa misma zona de toberas se realiza la inyección de gas natural o fuel oil. Estos últimos sirven también para una mejor regulación de temperaturas en el horno.

Durante el proceso se acumulan en el crisol en estado líquido, el arrabio y la escoria, que flota sobre él por su menor densidad: 2,7 contra 7,8 kg/ dm<sup>3</sup>.

Por el tragante, escapan los gases que arrastran consigo una cantidad de polvo entre 10 y 50 g/m<sup>3</sup>, que hay que recuperar para poder utilizar los gases como combustible en otras instalaciones.

Para sacar la fundición se pincha el horno perforando la piqueta de colada cada +/- 3 h. Por tanto se sacan 6 a 10 coladas /día que salen a 1.400 °C y luego se vuelve a tapar el agujero con pasta refractaria. La escoria se extrae cada 2 – 2,5 horas y sale a 1.450 °C (50 +). La piqueta por la que se extrae está más arriba. Los mayores hornos cuentan hasta 4 piquetas para cada cosa..

La fundición pasa luego a los convertidores. En estado líquido se carga en los torpedos para su transporte a la acería (lógicamente cuando están en el mismo complejo).

Los pesos de las materias primas y productos obtenidos varían mucho de un caso a otro, dependen de la instalación, el mineral, el coque, sistemas de carga, granulometría, etc.

Como concepto importa destacar que en 1ª instancia, la reacción entre el oxígeno del aire y el carbono del coque es:



Luego ante la insuficiencia del aire:



Prácticamente 2/3 del CO<sub>2</sub> original se convierte en CO, el resto queda como tal.

El CO es el responsable de la reducción de los óxidos y como se genera en exceso a la salida hay una cantidad disponible que sirve como combustible gaseoso para la fábrica o poblado cercano, porque produce la siguiente reacción exotérmica.

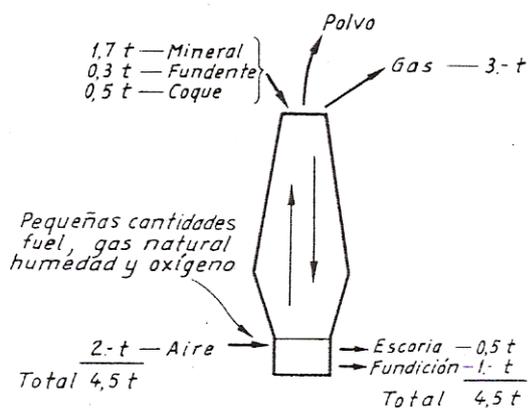


FIGURA 9.1  
Esquema del horno alto.

La figura, presenta un balance de masa (entrada versus salidas) con valores típicos, no se ha valorizado el polvillo, que está +/- en 100kg.

Nótese la magnitud de la masa de aire y gases, frente al resto de las cargas.

Las temperaturas más importantes, en sentido descendente son:

1. Pre calentamiento y secado de las cargas (200 °)
2. Reducción indirecta del mineral de hierro ( 500 – 1.000°)
3. Descomposición de carbonatos de hierro( si hubiera) (600°)
4. Descomposición de las calizas (800°)
5. Reducción directa de los óxidos de hierro (1.050 – 1.350°)
6. Carburación del hierro (1.200°)
7. Formación y fusión de escorias (1.000 – 1.350°)
8. Reducción de óxidos de Mn y P (1.350°)
9. Combustión del coque (1.500 – 2.000°)
10. Separación de la fundición y la escoria en el crisol (1.400 – 1.500°)

ESQUEMA GENERAL DE LA MARCHA DE UN HORNO ALTO

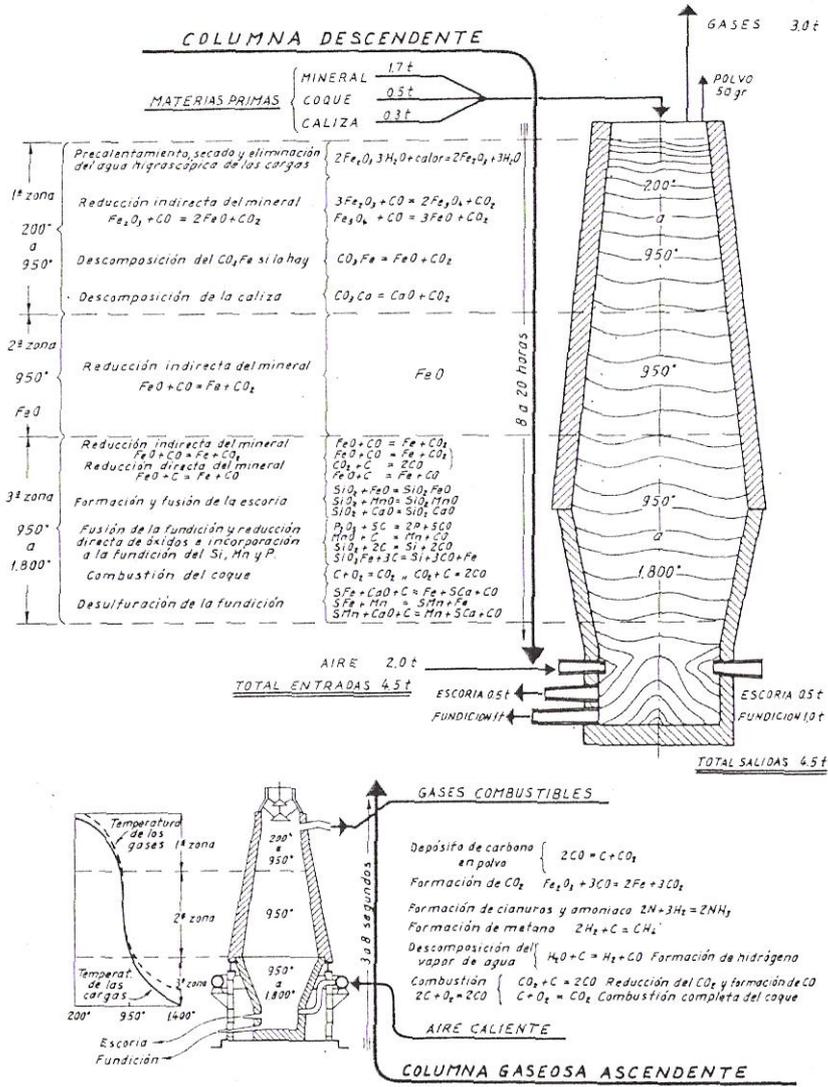


FIGURA 9.19 Esquema general de la marcha de un horno alto.

**OBTENCIÓN DEL ACERO. CONVERTIDORES:**

El problema del arrabio es poseer un exceso de impurezas, tales como C, Si, S y P que lo vuelven frágil y poco adecuado para su uso. Es necesario un tratamiento posterior, llamado **afino**, para eliminar esas impurezas y también para incorporar ciertos elementos beneficiosos que le otorgan propiedades especiales. Algunos son: **Cr, Ni, V, Mo, Co**, etc.

Las materias primas para fabricar acero son arrabio y chatarra, además hay que agregar: ferroaleaciones que contengan los elementos de aleación nombrados, fundentes, y aire u oxígeno puro. Este último es para lograr reacciones de oxidación, como la siguiente:



Justamente, esta reacción, demuestra como se elimina el exceso de carbono, de modo similar se elimina Si, Mn, Mg, etc.

La chatarra se usa generalmente en hornos eléctricos de arco o inducción. Generalmente, este proceso se usa para fundir piezas especiales tanto en su forma como composición química. Por tal razón se selecciona la chatarra disponible y se carga aquella que contiene los elementos de aleación necesarios para la fundición que estemos preparando. Lógicamente para lograr la composición requerida final se incorporan ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios de cada caso particular, pero el hecho de usar la chatarra adecuada es de gran ayuda.

En el parque industrial petroquímico (P.I.P. -Luján) está Aceros Cuyanos que se dedica a esta actividad. Hay distintos tipos de hornos para obtener acero:

- Convertidor LD
- Convertidor Bessemer y Thomas (antiguo)
- Horno Siemens Martín (antiguo)
- Hornos eléctricos

### **Convertidor LD:**

Este proceso, surgido en 1952, prácticamente desplazó a los de Bessemer - Thomas y Siemens Martín. En los procesos previos se oxidaba el baño metálico con oxígeno del aire, y de los óxidos de la chatarra. El proceso LD se caracteriza porque emplea convertidores de revestimiento básico cerrados por debajo, con una lanza vertical que se introduce por la boca del convertidor y por la que se inyecta oxígeno puro a velocidad supersónica sobre la superficie de la fundición que se va a afinar.

El oxígeno debe tener presión suficiente para atravesar la capa superficial de escoria. Se suele usar 10 bar y el consumo es de aprox. 75 kg de oxígeno por tonelada de acero. La inyección se realiza a una altura comprendida entre 1 y 2 m sobre la superficie del metal líquido.

De esta forma se logró bajar el nitrógeno a un contenido entre 0,0020 y 0,0050 %, con lo cual aumentaba su ductilidad y la facilidad de embutición demandada por la industria automotriz para fabricar carrocerías. Su calidad igualaba a los aceros de Siemens Martín, pero con mayor productividad.

Recordemos que el aire es una mezcla de 4 partes de nitrógeno y 1 de oxígeno, y al no usar aire, no hay nitrógeno.

El crisol tiene forma de mate, con la boca centrada. El cuerpo es de chapa de acero de 30 a 50 mm de espesor. Puede girar 360°. La carga ocupa sólo el 20 % de su capacidad.

Las temperaturas son del orden de 1.700 °C.

Está revestido con ladrillos refractarios básicos de dolomita y magnesia, que sirven para la eliminación del P y S.

Sus capacidades están entre 30 y 300 toneladas, la operación dura, según el tamaño, entre 20 y 45 minutos.

### **Resumen del proceso:**

La operación LD es parecida a la de otros convertidores. Durante el proceso se gira el convertidor para que presente la boca en la dirección más apropiada para las diferentes fases del proceso.

Todas las cargas se realizan por gravedad desde una altura superior a través de canalizaciones.

Con el crisol inclinado se carga la chatarra desde “cajones” movidos por puentes grúa y luego arrabio líquido que llega en una “cuchara”, que es una especie de balde que también se transporta suspendido de un puente grúa.

Luego se endereza, y se baja la lanza, comenzando el soplado de oxígeno.

Para formar escoria se agrega cal, aprox. un 5% del peso de la fundición, a veces también se agrega caliza. Estos productos se descargan desde sus respectivos depósitos, ubicados arriba, y se incorporan parte al principio y parte durante el proceso.

Los gases que escapan por la parte superior están constituidos por CO y CO<sub>2</sub>, también arrastran gran cantidad de polvo, por lo cual deben ser tratados.

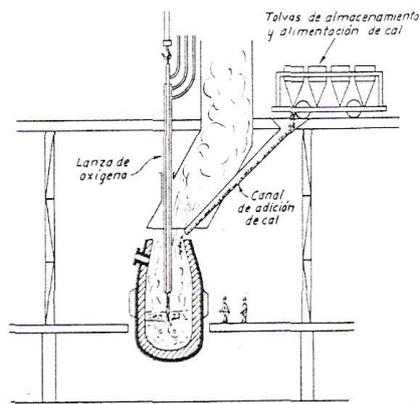


FIGURA 13.1  
Esquema de un convertidor LD con lanza para soplado de oxígeno.

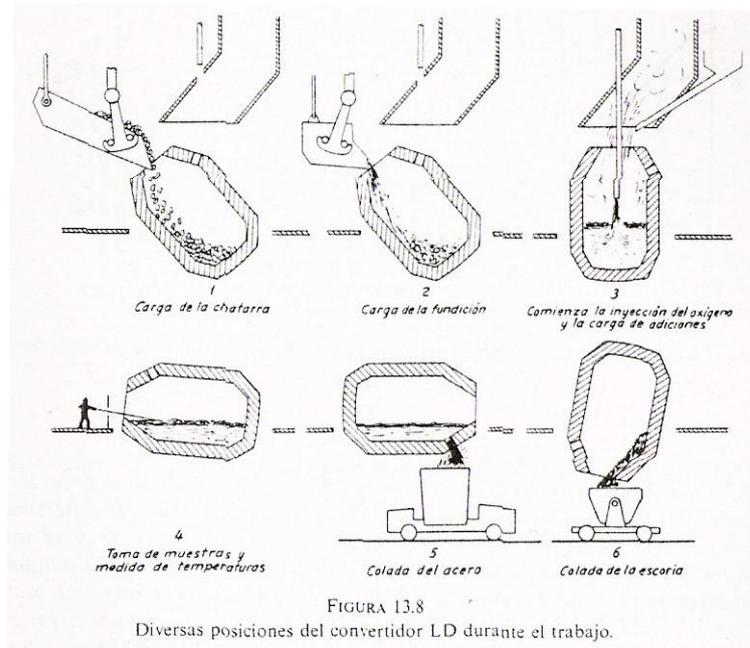


FIGURA 13.8

Diversas posiciones del convertidor LD durante el trabajo.

## TRENES DE LAMINACIÓN, TREFILADO:

Después de obtener el acero se vierte en moldes especiales llamados lingoteras, donde se inicia el proceso de enfriamiento. Para uniformar dicho enfriamiento se llevan a los hornos de fosa, donde se procura eliminar las diferencias de temperatura entre diversas zonas, debido a que esto, va a originar tensiones internas y posteriormente fallas.

Los lingotes sólidos y a una temp. de aprox. 1.000 °C se llevan a los trenes de laminación en caliente donde pasan entre 2 rodillos que giran a la misma velocidad y, en sentido contrario. Es el sistema de la “pastalinda”.

Allí se reduce su espesor y aumenta su longitud. A mayor temperatura la ductilidad y maleabilidad del acero son mayores.

Hay 2 tipos de laminación:

- En caliente, entre 800 y 1.250 °C.
- En frío, a temp. ambiente. Esta se aplica, en etapas posteriores, para el acabado de chapas finas.

El primer tren de laminación por el que pasan, se denomina tren desbastador, y lo que hace es reducir los lingotes a dos formas:

- **Desbaste cuadrado o bloom,** → **futuras planchuelas barras y perfiles.**
- **Planchón o slab (espesor +/- 200, largo 6.000)** → **futuras chapas**

Los desbastes o blooms pasan directamente o, por medio de un horno de recalentar, al tren de fermachine, o, a los trenes de perfiles estructurales.

En el primer caso se obtienen barras y alambres. El trefilado consiste en hacer pasar a la fuerza, traccionando, las barras, alambres o alambres a través de un agujero calibrado donde se reduce la sección. Según el diámetro, este proceso se puede hacer en frío. Los alambres de uso normal son obtenidos por trefilados sucesivos a partir de alambres de 1/4 ” (6,35 mm) y luego recocidos para ablandarlos.

En el tren estructural los blooms pasan en caliente por rodillos de forma especial, donde se obtienen:

Perfiles: I, U, Z, C, T, ángulo, etc.

Barras: hexagonales, cuadradas, redondas, de construcción, etc.

Planchuelas

En el tren de bandas en caliente los slabs se transforman en bobinas de chapa de distintos espesores.

Posteriormente las chapas finas pasan al tren de bandas en frío, para mejorar sus propiedades mecánicas y su acabado superficial. Por ejemplo no presentan cascarilla o descamación.

Parte de la chapa fina pasa al tratamiento de galvanizado, y, a producción de hojalata.

El primero consiste depositar electrolíticamente una capa de Zn para resistir la oxidación.

La fabricación de hojalata consiste en aplicar una película de Sn ,seguida de barniz que la hará útil para el envasado de conservas.

Se consideran gruesas, las chapas de espesores entre 3 y 50 mm. También hay mayores, pero se trata de partidas espaciales para usos específicos, como por ejemplo la fabricación de un reactor para la industria química o una refinería de petróleo.

Las finas tienen espesores desde 0,1 hasta 3 mm.

Estas chapas vienen en bobinas o en planchas.

Los caños estructurales se fabrican a partir de tiras de chapa que se pliegan, en un caso, o se cilindran, en otros. Luego se cierran y sueldan en forma continua.

## **PRESENTACIÓN COMERCIAL DE PRODUCTOS SIDERÚRGICOS:**

### **Designación:**

Nos vamos a referir sólo a los aceros para los cuales existen diversas normas de designación una muy usada es la denominación SAE (Society Automotive Engineering) .

En nuestro país las normas IRAM IAS NM 172, establecen criterios para clasificación de los aceros, aplicables en los países del MERCOSUR. De todas formas, son normas internacionales y su base la constituye el sistema SAE.

A tal efecto recomiendo consultar en la sede de **IRAM (Espejo 167 – 4º piso dpto. 15) o en internet ([www.iram.org.ar](http://www.iram.org.ar))**, las normas NM172, U 500-600, U 500-690, U 4948-1.

En ellas se establece que los aceros se dividen en:

- ✓ **aceros para la construcción** .....son aceros al carbono
- ✓ **aceros para herramientas** ..... “ “ con Cr, Ni, V, Mo, Tg, etc
- ✓ **aceros inoxidables** .....contienen Cr y Ni
- ✓ **aceros con características particulares**..... “ distintos elementos s/la propiedad buscada

Lo último depende del uso , puede ser que se desee mayor tenacidad, maquinabilidad, flexibilidad, elasticidad, resistencia al calor (aceros refractarios), resistencia a la fricción, impactos, facilidad para magnetizarse y desmagnetizarse, etc. En función de esto se agregarán distintos elementos de aleación: Pb, Mn, Mg, Si, Be, Cr, etc.

Los aceros se designan con 4 dígitos, el 1º indica que elemento de aleación contiene, el 2º puede indicar el % aproximado de ese elemento, el 3º y 4º indica las décimas y centésimas del % aproximado de carbono. Cuando este % es mayor que uno se ocupan 5 dígitos.

Ej. SAE 3120 significa acero al cromo níquel con 1 a 1,5 % de níquel y 0,15 a 0,25 % de carbono.

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| <b>Aceros al carbono</b>      | <b>1</b> |
| <b>níquel</b>                 | <b>2</b> |
| <b>cromo níquel</b>           | <b>3</b> |
| <b>molibdeno</b>              | <b>4</b> |
| <b>cromo</b>                  | <b>5</b> |
| <b>cromo vanadio</b>          | <b>6</b> |
| <b>tungsteno</b>              | <b>7</b> |
| <b>cromo níquel molibdeno</b> | <b>8</b> |
| <b>silicio manganeso</b>      | <b>9</b> |

Conviene aclarar a que se le llama hierro. El hierro puro o casi puro tiene usos muy limitados. En siderurgia se considera hierro a un producto con un % de carbono inferior a 0,06.

En el lenguaje popular le llaman hierro al acero de bajo % de carbono que se usa comúnmente y que es precisamente **acero SAE 1010**. Este acero tiene como elemento agregado carbono en un % comprendido entre 0,08 y 0,15. O sea que está mal llamarlo hierro porque también es un acero. Las chapas y perfilera usadas en los trabajos metalúrgicos corrientes son acero SAE 1010.

De acuerdo con esta clasificación los aceros inoxidable son la serie 3.000, pero en el comercio se usa para ellos la denominación dada por **AISI** ( American Iron and Steel Institute), que emplea un código de 3 dígitos:

**Serie 200 y 300 estructura austenítica**

**Serie 400 “ ferrítica**

Los hay resistentes al agua, a los ácidos, refractarios, templables, etc.

Su uso en la industria alimenticia es casi excluyente.

Las tablas comerciales de características orientan sobre su uso y selección.

Para dar algún ejemplo digamos que uno de gran aplicación por su buena resistencia a la corrosión de diversos tipos de agentes químicos, sus características sanitarias, buena formabilidad y soldabilidad es el **AISI 304**.

El acero inoxidable está disponible en forma de perfiles, caños, chapas, planchuelas y barras redondas y cuadradas.

Los aceros especiales se consiguen en forma de chapas por pedido especial y más fácilmente en la forma de barras redondas macizas de diversos diámetros.

Argentina no es productora, y eso genera una dependencia importante. Se importa de Brasil, Sudáfrica, Ucrania, etc.

### **Medidas comerciales:**

#### **Perfilería:**

Incluye los perfiles U, C, Z, T, I, ángulo de alas iguales.

Las varillas de hierro nervado para construcción son de 12 m y diámetros expresados en mm: 4,2, 6, 8, 10, 12, etc.

Los perfiles **C** tienen medidas en mm y largos de 12 metros. Se usan para correas de techos metálicos.

**Los largos de los perfiles son de 6 metros para las medidas pequeñas y 12 metros para los de mayor dimensión.**

En cuanto a sus medidas: espesor, ancho, alas, alma, etc; se dan en pulgadas para algunos y en mm para otros.

Por ejemplo los ángulos se designan así: 2” x 1/4”, quiere decir alas: 2” espesor: 1/4”

En un futuro próximo vendrán milimétricos de manera que la actual medida 2” = 50,8 mm pasará a ser 50 mm y 1/4” = 6,35 mm pasará a ser 7 mm.

Para el perfil **T** se da el caso de los ángulos y se expresan también en pulgadas.

En el caso de los **I** (doble T) y de los **U**, existen los denominados perfiles normales PNI, PNU, cuyas medidas son milimétricas y su forma más proporcionada.

La línea americana para el **I** y el **U** es de alma bastante mayor que las alas. Sus medidas se expresan en pulgadas. Son muy altos.

La decisión entre normal y americano depende de la forma que busque el proyectista y de los cálculos de resistencia. Pero digamos groseramente que el americano tiene gran resistencia a la flexión en sentido vertical y baja en el plano horizontal. La línea normal no presenta tanta diferencia en ambas direcciones.

## CHAPAS:

Referente a las chapas se dividen en **gruesas y finas**.

Las gruesas proceden de laminación en caliente, sus espesores se expresan en pulgadas, desde 1/8" = 3,175 mm, en adelante. Ancho 1.500 mm, largo 3.000 o 6.000 mm.

Las finas pueden proceder de laminación en frío o caliente, para espesores de hasta 1,6 mm, y exclusivamente de laminación en caliente para los espesores superiores.

Los espesores normales van desde 0,3 hasta 3,2 mm y se expresan mediante un N° adimensional que corresponde al calibrador Birmingham. Este calibrador se usa para chapas y alambres y es producto de normas que puede consultar entre otros en el Manual Hütte.

En la calle escuchará decir chapa 18, alambre 14, etc. En los planos con todo detalle y en lenguaje técnico pondríamos: **chapa S.A.E 1.010 B.W.G. 18**

BWG es Birmingham Wire (alambre) Galgue

A mayor N° menor espesor y viceversa. La idea original del sistema es que el N° representa la cantidad de chapas que necesito apilar para tener un espesor igual al de una unidad de medida tomada como patrón. Cuanto más fina sea la chapa, mayor cantidad tendré que apilar para llegar al espesor.

*Para conocer los espesores correspondientes a c/N° **manéjese con tablas**, no intente sacar cuentas tomando como patrón 1 pulgada porque esa opinión de la calle no es correcta.*

Con respecto a largos y anchos hay toda una gama de medidas milimétricas e inglesas.

Una es 1.000 x 2.000.

Las medidas más frecuentes son resultado de un corte hecho originalmente en pies. Por ejemplo una común es 1.220 x 2.440, que resulta de la traducción de 4 pies x 8 pies

1 pie = 304,8 mm.

También es común 1.220 x 3.000.

La diferencia de largos para un mismo ancho resulta de incrementar esa dimensión de a un pie.

Ej. : Si Ud. quiere una chapa más larga que 3.050 mm ( 10pies), la siguiente mide 3.355 mm (11 pies), la próxima 3.660 mm (12 pies) y así sucesivamente. En síntesis los largos y anchos corresponden a medidas enteras tomadas en pies.

Existe una 3er. categoría de medidas de ancho y largo que no se corresponden a ninguna lógica que pueden derivar de partidas defectuosas, o puesta a punto de los trenes de laminación, que en el mercado denominan "bastardas" y que son interesantes porque de pronto nos encontramos con dimensiones anormales que nos solucionan problemas de empalmes o nos disminuyen el desperdicio. Esto es más frecuente en el acero inoxidable.

## CAÑOS:

Por último nos referiremos a los caños, leyó bien, dice último, parece mentira...¿ no?

Por empezar digamos que ciertos manuales diferencian tubos y caños. Ambos pueden ser con o sin costura. Los tubos no resisten presión, sirven para uso estructural, los caños resisten presión, por lo tanto son aptos para conducir fluidos.

Como el lenguaje es ambiguo no haremos tal diferencia, pero sepa que hay académicos que si la hacen.

**Diremos que hay caños estructurales y para conducir fluidos. Esta diferencia, si importa.**

Respecto de las medidas digamos que en ambos casos el largo es 6.000 – 6.200 mm.

### Estructurales:

Tienen costura, y sus secciones pueden ser cuadradas, redondas, rectangulares, ovaladas (baranda) y otras formas especiales, más bien artísticas que imitan hierro forjado, etc.

## A la medida usada para designar la llamamos nominal.

**En estos casos su denominación se hace en base a las medidas exteriores.**

### Ejemplos:

Caño estructural (cuadrado) 40 x 40 x 2..... mide 40 mm x 40 mm x 2 mm de espesor

Caño estructural (rectangular) 80 x 40 x 2,5..... ” 80 mm x 40 mm x 2,5 mm ” ”

Caño estructural (redondo)  $\Phi$  3/4 ”x 0,9..... ” diámetro exterior 0,75”= 19,05 mm, espesor 0,9 mm

NOTAR: 1) en los redondos usa pulgadas y en los demás mm.

2) los espesores corresponden a los de las chapas finas, porque se hacen con ellas.

### Conducción de fluidos:

Según normas de A.S.T.M. (American Society for Testing Materials), diferenciamos:

$\Phi$  nominal.....usado para designarlo, no es una medida real, no es medible, sale de las normas (\*)

$\Phi$  exterior.....es real

$\Phi$  interior.....es real

❖ A partir de 14”  $\Phi$  nominal =  $\Phi$  exterior real

Acá tampoco podemos hacer transformación de valores en forma matemática, se trabaja exclusivamente con la tabla porque las medidas surgen de normas y no de equivalencias numéricas.

Digamos como ejemplo que el caño de 1” no mide 25,4 mm, que es el valor de la pulgada, sino, según norma  $\Phi$  exterior real = 33,4 mm

¿Qué pasa con el  $\Phi$  interior y el espesor?

Para un mismo  $\Phi$  exterior hay diferentes espesores, o sea que la diferencia se hace hacia adentro. Se hace referencia al espesor mediante un N° , **que no es una medida**, llamado **schedülle**. Este valor adimensional, se relaciona con su resistencia mecánica y la presión de trabajo que va a soportar .

Los valores más comunes son 40, 80, 120 y 160. El espesor también figura en tablas, es producto de normas. Realmente vienen de 10 en 10 , y, a partir de 10, pero no siempre se consiguen en el comercio. En el caso del caño de 1” los espesores correspondientes son:

| Schedülle | Espesor | $\Phi$ interior |
|-----------|---------|-----------------|
| 40        | 3,38    | 26,64           |
| 80        | 4,55    | 24,3            |
| 120       | No hay  |                 |
| 160       | 6,35    | 20,7            |

N° Schedülle = 1.000 x presión/ tensión admisible.

Ej. :Se denomina un caño  $\Phi$  3/4 ” Sch. 40 (Se dice 3/4 ”, pero realmente no lo mide)

### BIBLIOGRAFÍA:

Fabricación de hierro, aceros y fundiciones Tomos I y II

Tratamiento térmico de los aceros

José Apraiz Barreiro