



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO



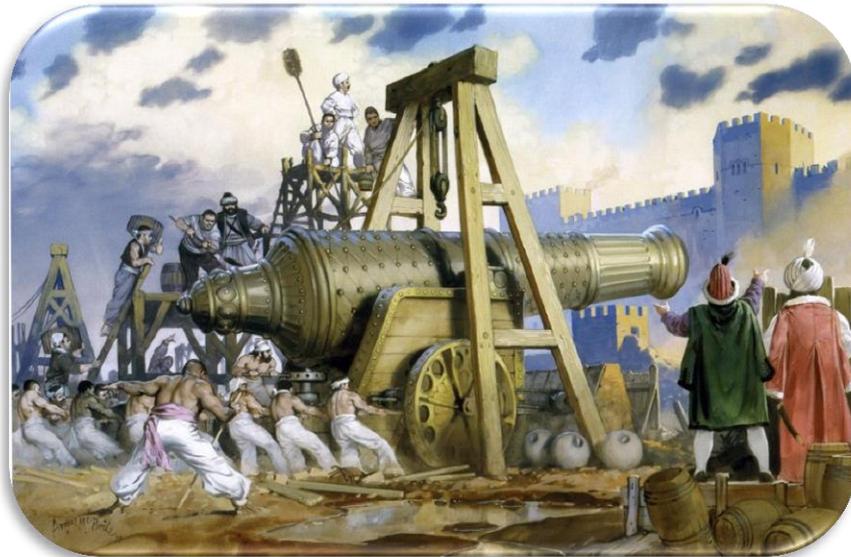
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURAS DE INGENIERÍA No. 31

HISTORIAS METÁLICAS



RECOPILÓ:

M.en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2019-1

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	2
1. DE METEORITOS.....	3
2. EL ACERO Y SU HISTORIA	10
3. LOS ORÍGENES DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA MEXICANA. CONTINUIDADES Y CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN EL SIGLO XIX.....	37
4. LA TORRE EIFFEL	72
5. EL ACERO DEL TITANIC	86
6. ¿TUNGSTENO O WOLFRAMIO? O LA BATALLA PÉRDIDA POR LA QUÍMICA ESPAÑOLA	98
7. LA DAGA DE TUTANKÁMON	106
8. EL DESCUBRIMIENTO DEL COLUMBIO, PERDÓN... DEL NIOBIO.	109
9. EL PILAR DE DELHI	114
10. SI ERA UN NUEVO ELEMENTO.... ..	118
11. “ANTIGUA” PIEZA DE ALUMINIO.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	126

INTRODUCCIÓN

En esta lectura se presentan algunas historias que se consideran interesantes relacionadas con los metales y sus aleaciones, mencionando que la principal fuente es Internet, dando el crédito correspondiente a su autor y modificándolas lo menos posible, quizá para mejorar un poco su redacción o incluyendo alguna imagen para hacerla interesante al lector.

Como siempre, todo comentario o corrección será bienvenida.

Atte.

Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

Ilustración de la portada: **Angus McBride**,

<https://vignette.wikia.nocookie.net/ronriseofkings/images/8/83/Illustration-of-angus-mcbride-showing-the-ottoman-cannon-basilica-during-the-siege-of-constantinople-in-1453-ad.jpg/revision/latest?cb=20141108155856>

I. DE METEORITOS.....

I.1. Introducción.

Tradicionalmente los meteoritos se dividen en tres grupos teniendo en cuenta su composición: meteoritos rocosos, litosideritos y meteoritos metálicos.

Los *meteoritos rocosos* están constituidos casi en su totalidad por silicatos, lo cual representa el 92.8% de las caídas.

Los *litosideritos* son el término medio entre los meteoritos rocosos y férricos, al estar constituidos por silicatos y aleación de Fe-Ni casi a partes iguales; el 1.5% de las caídas corresponden a estos meteoritos. Se subdividen en cuatro clases:

- Palasitas. El más abundante de este grupo, que consiste de granos de olivino (frecuentemente en cristales individuales de hasta 1 cm de largo) embebidos en una matriz de Fe-Ni. Algunas palasitas contienen proporción considerable de metal libre de silicatos, lo que constituye una gradación hacia los sideritos.
- Siderófitos. Con sólo un ejemplo conocido que consiste de broncita y tridimita en Fe-Ni.
- Lodranitas. Con sólo un ejemplo conocido que consiste de broncita y olivino en Fe-Ni.
- Mesosideritos. un grupo muy variable que contienen aproximadamente, igual cantidad de silicatos que de Fe-Ni. Frecuentemente con más troilita; el metal no forma una malla continua como en las palasitas y los silicatos son principalmente hipersteno y piagiociasa. En pocos mesosideritos el piroxeno es enstatita y en un ejemplo el metal forma nódulos grandes.



Figura 1.1. Palasita cortada y pulida, donde se pueden apreciar los cristales de olivino en la matriz de Fe-Ni

Por último, los **meteoritos metálicos**, también conocidos como sideritos, holosideritos, meteoritos férricos o meteoritos ferrosos, son un tipo de meteoritos que se caracterizan por estar compuestos mayoritariamente por hierro (Fe) y níquel (Ni), sobre todo formando aleaciones llamadas kamacita y taenita. Se cree que son restos del núcleo de asteroides que se destruyeron al impactar entre ellos o con otros cuerpos del Sistema Solar. Debido a su gran densidad y tamaño, el peso de todos los meteoritos metálicos recolectados supera las 500 toneladas, lo que representa un 89.3% de la masa total de todos los meteoritos conocidos. Sin embargo, solo representan un 5,7% de las caídas. Se clasifican en:

- Ataxitas ricas en níquel. Con ese elemento normalmente superior al 12%.; con estructura usualmente de grano fino y diferente de la de los otros meteoritos férreos y con inclusiones abundantes de schreibersita.

- Octaedritas, que contienen Ni entre 7 y alrededor de 12%, se subdividen en octaedritas muy gruesas. Gruesas. Medias. Finas y muy finas dependiendo del ancho de las láminas de kamacita. No hay un límite neto entre hexaedritas y octaedritas o entre los subgrupos de octaedritas. Las que contienen dos fases distintas de Fe-Ni: kamacita y taenita.

- Hexaedritas. El tipo más simple de meteoritos, cuyo contenido de níquel varía entre 6 y 7 % y que consisten de una fase de Fe-Ni, kamacita (Fea); contienen minerales accesorios que muestran líneas de Neumann.

- Ataxitas pobres en níquel, con entre 4 y 7 % de ese metal.
- Metabolitas, con níquel entre 7 y 11%; aparentemente han perdido o no han desarrollado estructura de Widmanstätten.
- Octaedritas brochadas. Donde el diseño de Widmanstätten sólo permanece en una orientación dada en distancias entre 1 y 3 cm, a diferencia de las octaedritas en donde comúnmente permanece paralela en toda la masa del meteorito.

Existen dos formas de clasificar a los meteoritos metálicos: una de ellas, la más antigua, se basa en la observación de la estructura del meteorito cuando se corta, se pule y se trata con agua fuerte, y se denomina clasificación estructural; la otra es la clasificación química, y tiene como criterio la cantidad de elementos traza (germanio [Ge], galio [Ga] o iridio [Ir]) que contiene el ejemplar.

Por su composición sufren menos ablación al entrar en la atmósfera, lo que hace que su tamaño sea mayor comparado con el de los meteoritos rocosos o los litosideritos. El meteorito de mayor tamaño que se conoce es el meteorito Hoba, encontrado en Namibia, con un peso de unas 60 toneladas, figura 1.2.



Figura 1.2. Meteorito Hoba en Namibia

I.2. Y en México...

Mucho antes de aprender a utilizar los minerales ferrosos terrestres, los antiguos trabajaron el hierro de los meteoritos. Según Mircea Eliade, cuando Hernán Cortés preguntó a los jefes aztecas de dónde obtenían el hierro de sus cuchillos, éstos le mostraron el cielo. Lo mismo que los mayas en Yucatán y los incas en Perú, los aztecas utilizaron únicamente el hierro de los meteoritos, que tenía un valor superior al del oro. Los meteoritos metálicos conocidos desde la época colonial fueron utilizados usualmente como yunques, y algunos servían en las culturas indígenas como punto de referencia en los caminos.

Los meteoritos tenían una carga mítica que asombraba a los antiguos. No eran rocas comunes, venían del cielo. Con ayuda del fuego, también mítico, los herreros forjaban las rocas meteóricas y las convertían en estatuillas o armas. Esto no se puede hacer con las rocas comunes porque se romperían con el impacto de los martillos. De hecho, no todos los meteoritos son forjables. Aparte de los meteoritos férricos, que si lo son, en la Tierra han caído muchos de los llamados meteoritos térreos que son como las rocas comunes.

Los guerreros dotados de armas de origen meteórico sentían el poder de los cielos en las batallas. Probablemente de allí viene la conexión entre la siderurgia —la industria del hierro— y lo sideral, que se relaciona con las estrellas. No muy lejos del Valle de México, cayó en las cercanías de Toluca, hace 60,000 años aproximadamente, una lluvia meteórica. Miles de fragmentos, con pesos que oscilaban entre décimas y decenas de kilogramos, cayeron en unas colinas en los alrededores del poblado de Xiquipilco. Se cree que un meteorito de cerca de 60 toneladas se rompió en muchos fragmentos al chocar con la atmósfera. No se sabe cuándo se inició el uso del hierro de los meteoritos para la fabricación de cuchillos y hachas para los nativos mexicanos. Sin embargo, todavía en 1776 había dos herreros en Xiquipilco dedicados al trabajo del hierro de ese meteorito y lo conformaban para producir herrajes al gusto del cliente

En el siglo XIX se empezaron a recuperar y a estudiar meteoritos en el territorio nacional, ya que si bien muchos eran conocidos, no se tenían referencias escritas de ellos. Por ejemplo en Chihuahua se sabía de varias masas meteoríticas que fueron buscadas sin éxito durante la creación de la nueva frontera entre México y Estados Unidos como parte del Tratado de Guadalupe-Hidalgo.

I.3. Los meteoritos del Palacio de Minería.

(http://www.cienciorama.unam.mx/alpdf/413_cienciorama.pdf)

El ingeniero Antonio del Castillo realizó el primer catálogo de meteoritos en México, aunque fue publicado en francés. Posteriormente, en 1893, ya como director de la Escuela Nacional de Ingenieros y del Instituto Geológico de México, impulsó que algunos meteoritos conocidos en el país fueran llevados a la Ciudad de México y exhibidos en el pórtico del Palacio de Minería. Los principales fueron los pertenecientes a la lluvia meteorítica de Chupaderos, entre los cuales hay tres bloques importantes: el Chupaderos I de 14 toneladas, el Chupaderos II de 6.8 toneladas y el Adargas de 3.4 toneladas. En Huejuquilla, Chihuahua, se halló el meteorito el Morito o San Gregorio de un peso aproximado de 10 toneladas que era usado como punto de referencia en las rutas indígenas de la región de Hidalgo del Parral, es excepcional porque es la pieza orientada más grande del planeta.

El meteorito Adargas o Concepción fue hallado en tiempos de la colonia y se cree que de él se extrajeron los fragmentos que Humboldt presentó como los del Durango. Este meteorito fue transportado desde la Sierra de Adargas a la Hacienda la Concepción donde en alguna ocasión un herrero trató de fundirlo, más tarde fue expuesto en el Palacio de Minería, pero después se llevó a la entrada del Instituto de Astronomía de la UNAM, donde aún permanece. El meteorito Zacatecas se encontró probablemente en la búsqueda de plata poco después del arribo de los españoles a esta región. En 1890 fue trasladado a la Ciudad de México también por iniciativa de Antonio del Castillo, después de estar exhibido en una calle de la ciudad de Zacatecas.



Figura 1.3. Meteorita de Chupaderos I: 2.20m x 0.85m x 2.50m y 14,114Kg;



Figura 1.4. Meteorita de Chupaderos II: 1.20m x 2.00m x 0.70m y peso de 6,767Kg;



Figura 1.5. Meteorita El Morito: 1.20m x 1.70m x 2.00m y peso de 10,100Kg;



Figura 1.6. Meteorita de Zacatecas: 1.10m x 0.30m x 0.55m y peso de 780Kg.

2. EL ACERO Y SU HISTORIA

2.1. La Prehistoria : Edad de los metales, Edad de Cobre , Edad de Bronce y Edad de Hierro (<http://www.historialuniversal.com/2009/05/edad-metales-cobre-bronce-hierro.html>)

Su fecha de aparición, duración y contexto varía dependiendo de la región estudiada. El periodo de la evolución tecnológica de la humanidad caracterizado por el desarrollo de la metalurgia comienza antes del año 5000 a. C. y acabaría en cada lugar con la entrada en la Historia, para buena parte de Europa en el milenio I a. C.

El uso de los metales nace en la Península de Anatolia (hoy Turquía) a partir del año 5.000 a.C. De allí se difunde a Mesopotamia y Egipto: carecen de yacimientos minerales y se inicia un comercio de metales a través del Mediterráneo, en busca de cobre y estaño. Este contacto permite la difusión de su conocimiento y permite el desarrollo cultural de los pueblos que comerciarán con los orientales.



Figura 2.1. Anatolia, hoy Turquía.

El hombre necesitó de elementos fuertes y resistentes que le permitieran una mejor confección de sus utensilios y armas; ello lo encontró al emplear los metales desde aproximadamente, el

año 4 000 a.C. Este nuevo momento en el discurrir de la humanidad toma, por ello, el nombre de edad de los metales que se divide en: Edad de Cobre , Edad de Bronce y Edad de Hierro

Edad de cobre o calcolítico (4 000 -3 000a.C)

El hombre prehistórico aprendió a usar el cobre el cual era fácil de obtener debido a su presencia en la superficie terrestre mezclado con otros minerales (el hombre aprende el proceso de la metalurgia, a través de la experimentación o de la casualidad, caída de cobre al fuego).Así construyó vasijas y armas cuyo uso combinaron con la piedra pulimentada.

Características de la edad de Cobre:

- El cobre, junto con el oro y la plata, es de los primeros metales utilizados en la Prehistoria.
- Invención de la metalurgia
- Desarrollo de la agricultura: arado, regadío, estiércol y nuevos cultivos (olivo,vid...)
- Desarrollo de la ganadería, domesticación del asno y el buey, la obtención de leche ,lana ,queso y yogurt.
- Desarrollo de la minería.

Edad de Bronce (3000 - 1500 a.C)

- El bronce es resultado de la aleación de cobre (90%) + estaño (10%) aproximadamente, obteniéndose un metal más duro y resistente.
- Se dio la aparición del primer Estado, la primera autoridad política.
- La organización social se hizo mucho más compleja que en los poblados neolíticos. Desaparición de la igualdad social
- Surge en el Creciente Fértil hacia el IV milenio a. C
- El bronce se origina en la actual Armenia, en torno al año 2800 a.C., pero también simultáneamente en la India, Irán, Sumeria y Egipto. Hacia el 2400 a.C. llega al Egeo y hacia el 1700 a.C. a Europa.
- El cobre se introdujo en Europa central hacia el año 1800-1600 a.C. y se desarrolla hasta el 700 a.C. En este periodo se generalizan las construcciones megalíticas.
- El mar Egeo es un área de intenso comercio del bronce.

Edad de Hierro (I 500 a.C)

-La edad de Hierro es el estadio en el desarrollo de una civilización en el que se descubre y populariza el uso del hierro como material para fabricar armas y herramientas.

- En algunas sociedades antiguas, las tecnologías metalúrgicas necesarias para poder trabajar el hierro aparecieron de forma simultánea a otros cambios tecnológicos y culturales, incluyendo muchas veces cambios en la agricultura, las creencias religiosas y los estilos artísticos, aunque ese no ha sido siempre el caso.

-El hierro le permitió al hombre dominar mejor el medio ambiente y ampliar su horizonte cultural. Los hititas fueron los primeros en usar el hierro

2.2 DESARROLLO DEL ACERO

La fecha en que se descubrió la técnica de fundir el mineral de hierro no es conocida con exactitud. Los primeros artefactos encontrados por arqueólogos datan del año 3.000 a.C. en Egipto, en donde se encontraron collares de cuentas de hierro de origen extraterrestre de hace 5,000 años según la revista 'Journal of Archaeological Science'.

Se trata de nueve cilindros elaborados a partir del hierro de meteoros procedentes del espacio. Los abalorios fueron encontrados en 1911 en dos enterramientos cerca de Al-Gerzeh, al norte de Egipto, y se conservan en Londres, en el Museo Petrie de Arqueología Egipcia del University College London (UCL): "Son las piezas de joyería de hierro más antiguas que se conocen en todo el mundo", explica a EL MUNDO Thilo Rehren, autor principal de este estudio y director del centro UCL de Catar.

El hierro obtenido de estas rocas espaciales fue trabajado con una técnica muy novedosa y compleja para la época (el año 3,200 a.C) que consistía en martillarlas hasta convertirlas en una capa muy delgada, de menos de un milímetro de espesor, a la que se le daba forma de tubo. Estos pequeños cilindros de hierro eran dispuestos en collares de cuentas, alternándolos con oro y otros minerales exóticos o piedras semipreciosas, como cornalina, ágata o lapislázuli.



Figura 2.2. En el centro, los cilindros de hierro de meteorito, que se insertaban en collares como los de la imagen, alternándolos con piezas de oro, cornalina (marrón) o lapislázuli (azúl).| UCL Petrie/Rob Eagle

Los primeros artesanos en trabajar el hierro, producían aleaciones que hoy se clasificarían como **hierro forjado**, esto mediante una técnica que implicaba calentar una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un gran horno con tiro forzado, de esta manera se reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria de impurezas metálicas, junto con cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente, dándole fuertes golpes con pesados martillos para poder expulsar la escoria y soldar el hierro. Ocasionalmente, esta técnica de fabricación, producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierros forjado. Se conocen piezas muy antiguas cuyo contenido aleante era inferior al 0.1% y con menos del 3% de escoria atrapada en los poros.

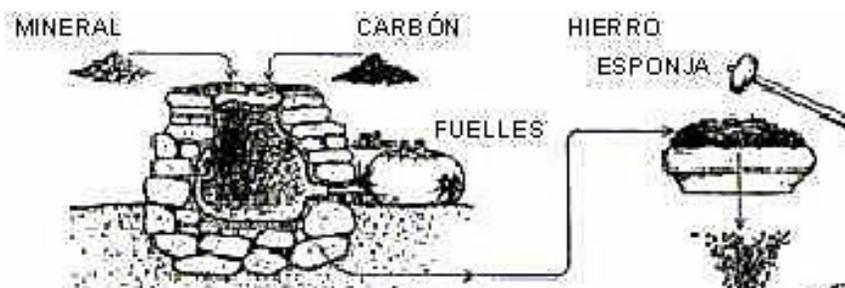


Figura 2.3. Producción del hierro esponja

Hasta aquí los antiguos tenían hierro, pero no acero. Hay indicios de que alrededor del año 1200 a.C. ya se sabía cómo convertir la superficie del hierro forjado en acero. Una vez conformada un hacha de hierro forjado, por ejemplo, se empacaba en medio de carbón de leña molido. El conjunto se mantenía en un recipiente al rojo vivo durante varias horas para que el carbono de la leña se difundiera hacia el interior del hacha.

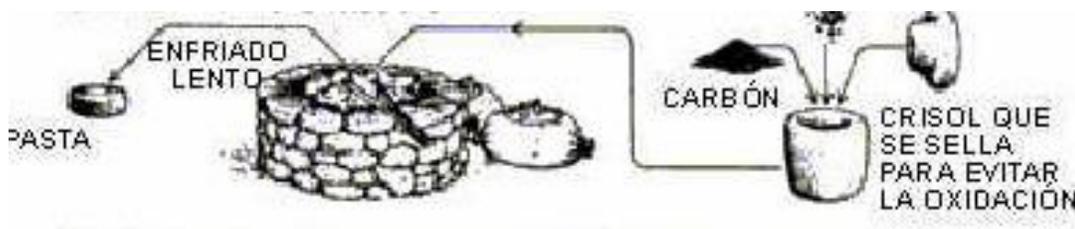


Figura 2.4. Producción de acero a partir del hierro esponja.

Los herreros de la India y Sri Lanka quizás en el año 100 a. C. desarrollaron una técnica conocida como acero Wootz que elaboraba un acero con muy alto contenido de carbono, en una pureza y resistencia desconocida en la época. Se añadía vidrio durante el fundido del hierro y se calentaba con carbón vegetal. El vidrio actuaba como un agente que hacía fluir las impurezas de la mezcla permitiendo que afloraran a la superficie durante el enfriamiento. Miles de acerías se encontraron en el área de Samanalawewa en Sri Lanka que elaboraban acero al carbono hasta comienzos del año 300.



Figura 2.5. Microestructura del acero indio Wootz utilizado para obtener las famosas espadas de acero Damasco.

Estos hornos de las acerías se ubicaban de tal forma que los vientos procedentes del oeste: los Monzones provocaban la succión necesaria para poder soplar y calentar el horno. Los sitios de elaboración del acero de Sri Lanka se han datado mediante Carbono 14 en el año 300. La técnica creada aquí se fue propagando lentamente a lo largo del mundo hasta llegar a Turkmenistán y a Uzbekistán a lo largo del 900, y al Oriente Medio sobre el 1000.

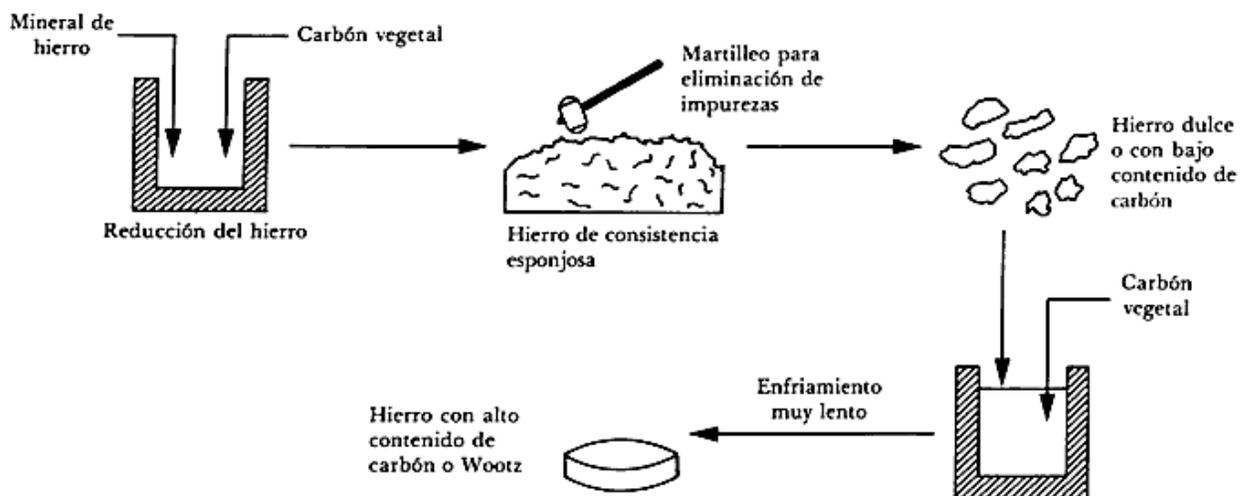


Figura 2.6. Obtención del acero Wootz

Este proceso de elaboración del acero se refinó en el Oriente Medio, elaborando sus propios aceros, o trabajando los aceros Wootz adquiridos en la India. El proceso exacto es desconocido hoy en día, pero se sabe que en la manufactura, los carburos llegaban a precipitar en forma de micro partículas ordenadas en capas o bandas en el cuerpo de la hoja. Los carburos, que son más duros, permiten dar esta característica mixta de dureza y flexibilidad, ideal para las espadas.

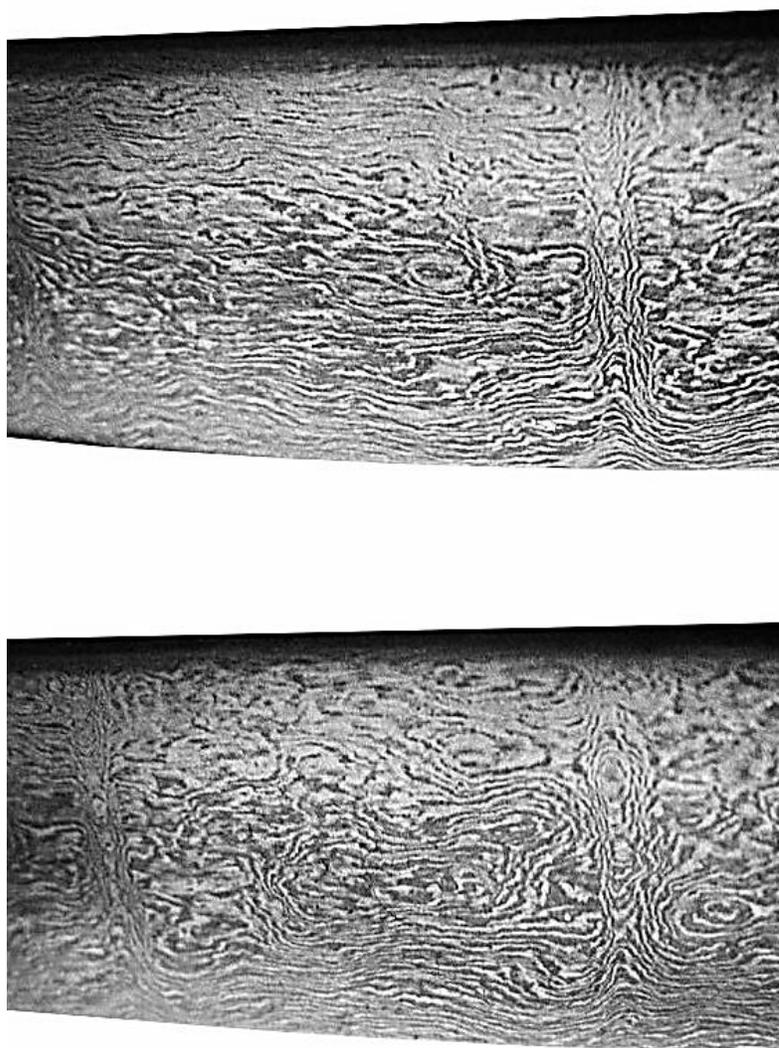


Figura 2.7. Primer plano de una espada de acero de Damasco forjado persa del siglo XVIII.

El acero de Damasco (denominado también como acero damasceno o acero damasquino) es un tipo de acero de crisol empleado y elaborado en Oriente Medio en la elaboración de espadas desde el 1100 hasta el 1700. Las espadas de acero de Damasco eran legendarias por su dureza y

su filo "casi eterno", eran muy aclamadas en Europa. La técnica empleada para su elaboración es hoy en día un debate entre metalúrgicos especialistas en la elaboración del acero. Las espadas de acero damasquinado se conocían por los patrones de sus hojas, hoy en día se emplea en la elaboración de cuchillos de alta gama.

Forja catalana

La forja catalana era un establecimiento metalúrgico (o mejor, siderúrgico) destinado a la producción de hierro a partir de algún tipo de mineral con una proporción aprovechable de este metal. Se introdujo en la Edad Media (S. XI) y consistía básicamente en un horno que quemaba carbón mezclado con aire a presión con el fin de alcanzar una temperatura muy alta, unos 1000° C, con la que se derretía el mineral y se lograba la separación del hierro (la mena) de las impurezas (ganga).

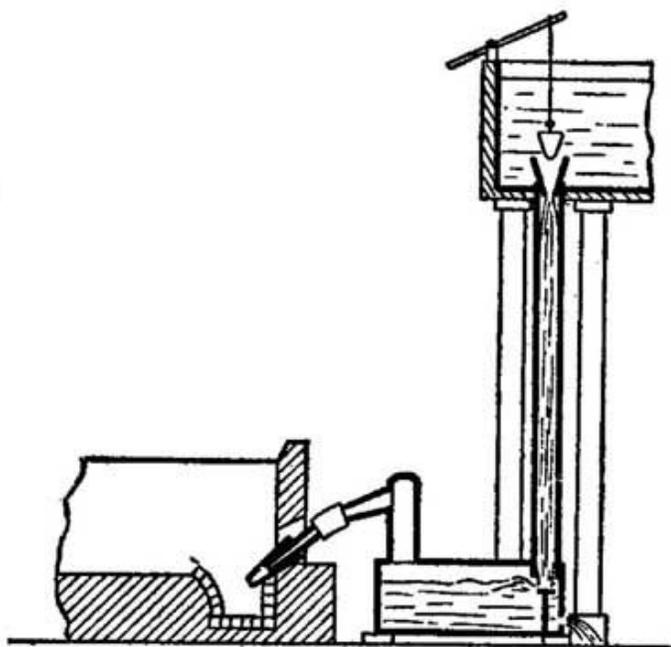


FIG. 36.—THE "TROMPE" BY WHICH COMPRESSED AIR WAS FURNISHED FOR CATALAN FORGES

Figura 2.8. La "trompa" por la cual el aire comprimido era quemado por la forja catalana.

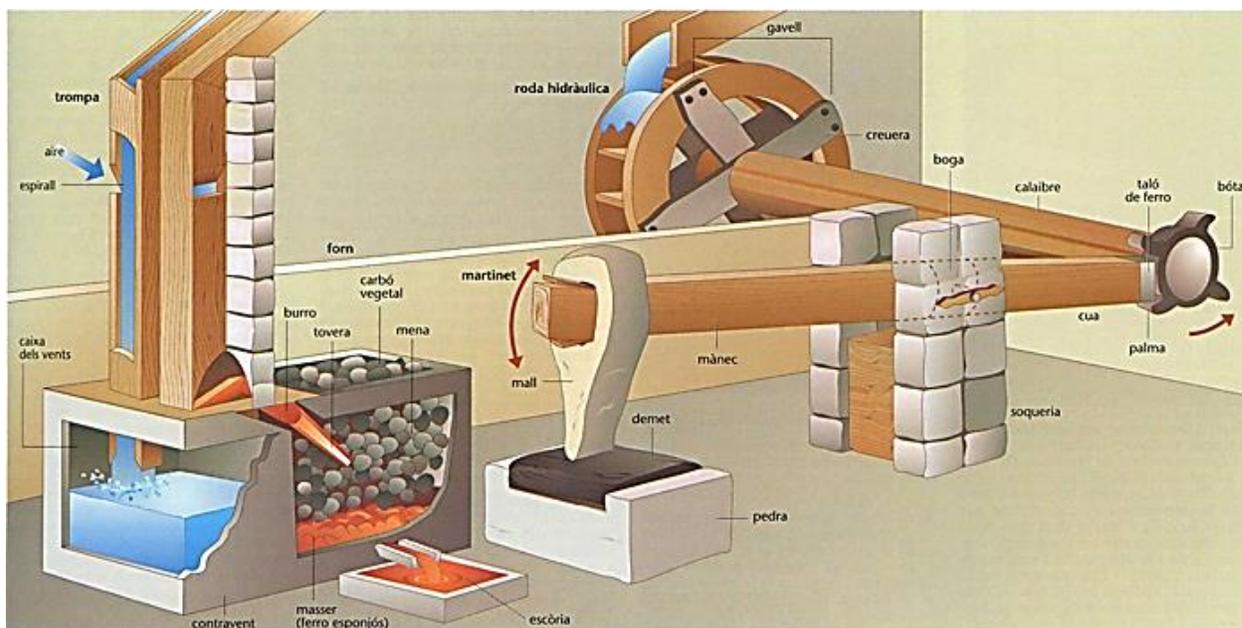


Figura 2.9. La forja catalana

La producción de hierro con el sistema conocido como «procedimiento catalán» constituyó un gran adelanto técnico porque lograba una aceleración de la combustión del carbón y una temperatura muy elevada gracias a la introducción de aire a una mayor presión que la que se obtenía tradicionalmente con los fuelles de las fraguas, mediante un dispositivo hidráulico que, gracias a la mezcla de aire y agua dentro de un tubo, lograba separarlos después gracias a su distinta densidad y así comprimir el aire directamente en el horno de manera continua y no intermitente como el caso del fuelle.

Pudelación o pudelado

Una auténtica revolución en el proceso del refinado del hierro se produjo gracias al inglés Henry Cort, quien introdujo en 1784 nuevos procedimientos: la pudelación y el laminado. Su patente sobre este proceso tiene fecha de febrero de 1784 pero ya existía una patente similar desarrollada por Peter Onions en mayo de 1783.

La pudelación, también llamada pudelado o pudelaje, es una manera de refinado del hierro que se produce en los altos hornos, mediante la que se consigue rebajar el contenido de carbono hasta un porcentaje muy bajo y, sobre todo, eliminar casi todo el azufre, por lo que el hierro resultante ya es hierro forjado.

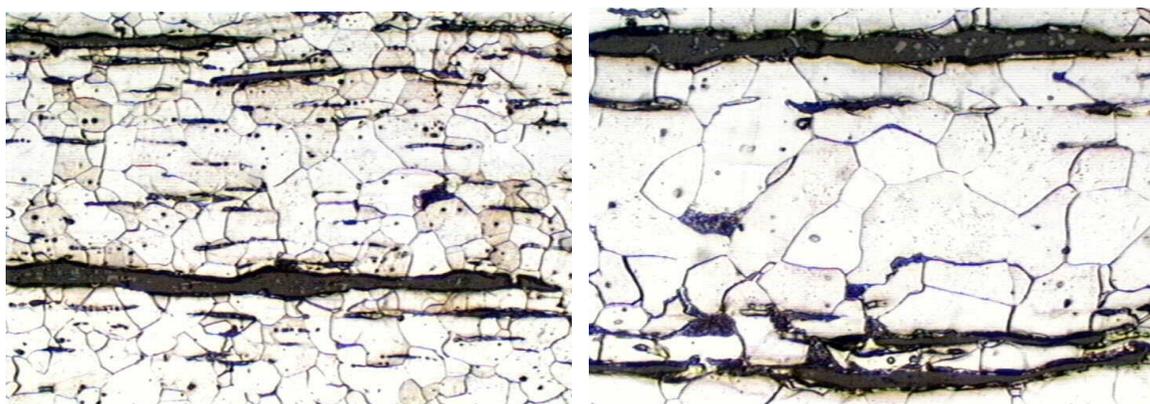


Figura 2.10. La metalografía de este acero presenta una matriz de ferrita formada por granos equiaxiales. Se observan, igualmente la presencia de unas fibras de color oscuro de diferentes tamaños que coinciden con la dirección de laminación de este producto. Estas fibras se corresponden con impurezas propias de un afino del acero de baja calidad. Su carácter cerámico hace que después de la temperatura a la que se ha realizado la deformación en caliente, no pueden recrystalizar como lo han hecho los granos de ferrita. La estructura de este acero es bastante tenaz, dada la disposición de las fibras. Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/x-29.html>

Durante la pudelación, el metal fundido se remueve o bate dentro de un horno de reverbero, para conseguir airearlo. Así, el carbono y el azufre consiguen arder, con lo que resulta un metal más puro y de mejores propiedades mecánicas.

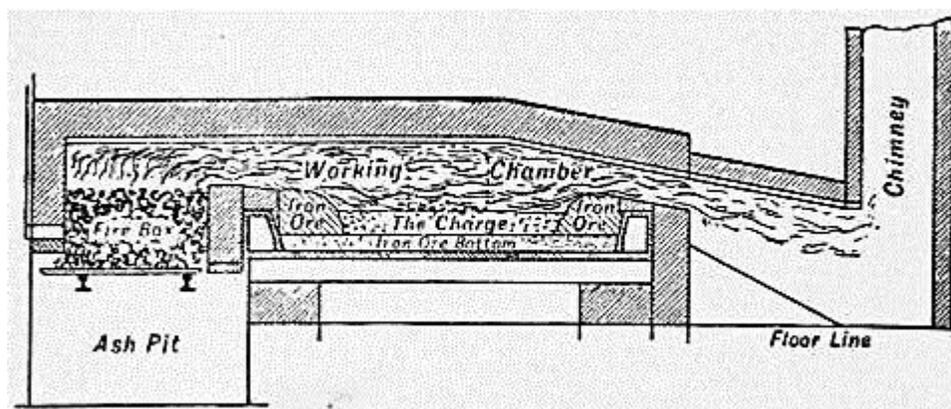


Figura 2.11. Proceso de pudelado.

El esfuerzo requerido por esta labor se desarrollaba en un ambiente sumamente caluroso por la proximidad del horno, por lo que era un trabajo muy penoso que causaba muchas bajas entre los trabajadores por lo que era difícil encontrar obreros de más de 35 años.

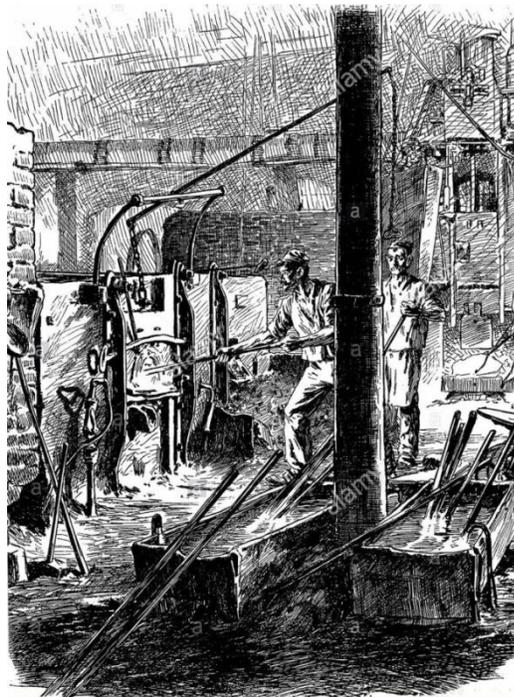


Figura 2.12. Obreros trabajando en el proceso de pudelado (Alamy stock photo)

Al salir del horno de pudelación, la fundición tenía el aspecto de una masa pastosa y había perdido la mayor parte de las impurezas previas, con excepción del fósforo.

Tras el horno de pudelación, la masa fundida pasaba al tren de laminado, en donde una serie de rodillos comprimía la masa y conseguía extraer más impurezas mediante presión. Esto confería una ventaja adicional pues se podían dar determinadas formas al hierro (raíles, perfiles cuadrados o circulares, etc) si el último de tales rodillos tenía dichas formas grabadas y actuaba por tanto como un molde.

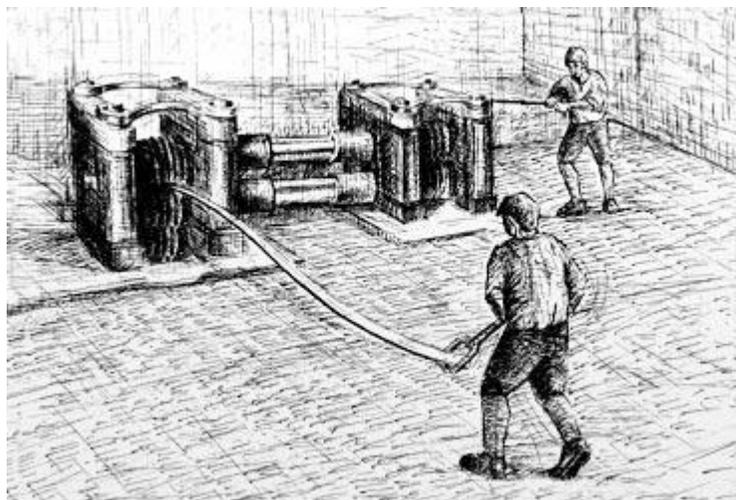


Figura 2.13. Laminado del acero después de ser obtenido mediante pudelado.

Este procedimiento de Cort, junto con el anterior desarrollo del hierro colado por Abraham Darby, permitió aumentar la producción y atender la fuerte demanda de hierro durante esta etapa de la Revolución Industrial para la fabricación de maquinaria, puentes, armamento y otros usos en la construcción. También sirvió para proporcionar hierro barato para la exportación. Así, en la Inglaterra de finales de siglo, se exportaba un 15-20 % de la producción total. La llegada del ferrocarril volvió a incrementar la demanda de hierro pero, gracias a las mejoras anteriores, la producción se cuadruplicó en 20 años. Al mismo tiempo, el precio disminuía, pasando de 42 libras por tonelada en 1750 a 25 libras en 1820.

Tras la pudelación, la producción de hierro siguió concentrada en el Reino Unido, lo que dio una ventaja considerable a este país. Unas décadas más tarde, el proceso se emplearía en otros países: llegó a Silesia superior en 1802, a Francia en 1817, y hacia 1825 al territorio del Ruhr. En Bélgica se conseguiría también un desarrollo importante.

No obstante lo anterior, hacia 1825 el precio del hierro inglés era la mitad que el del hierro francés; y hacia 1850, el Reino Unido aún producía cuatro veces más hierro que Francia y Alemania juntas.

La torre Eiffel o el armazón original de la Estatua de la Libertad son algunas de las construcciones realizadas con este material.

Acero blister

A pesar de todo, se produjo acero de calidad en Europa, mediante la exportación del muy valioso hierro sueco. No fue entendido en su época, pero el hierro de las minas suecas contenía niveles muy bajos de impurezas comunes, dando lugar a hierros y aceros de gran calidad. El hierro sueco sacado de las minas se empaquetaba en cajas de piedra junto con diferentes capas de carbón vegetal y era calentado en un horno durante un período cercano a una semana. El resultado eran una barras de metal conocidas como acero blíster, la superficie exterior de las barras se cubría de multitud de ampollas, o burbujas (blisters). La barra así obtenida se re-calentaba y mediante un martillo se forjaba mecánicamente para disminuir el contenido de carbono, resultando como producto final, el acero cortante. Los metalúrgicos alemanes se interesaron por este proceso, debido a la cercanía física de Suecia y llegó a ser el primer exportador europeo en el siglo XVIII. La técnica fue denominada proceso de cementación.

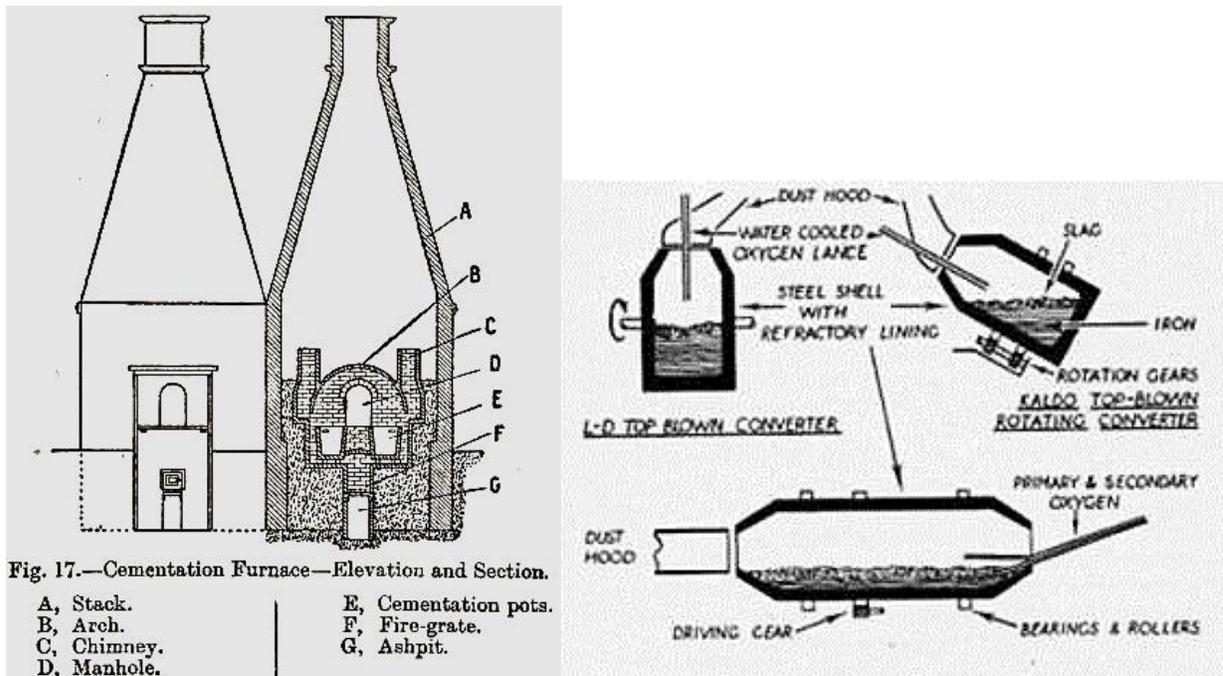


Figura 2.14. Obtención del acero blíster.



Figura 2.16. El horno de cementación de la calle de Doncaster en Sheffield, Inglaterra

Acero de crisol inglés

Se desarrolló en Inglaterra una nueva técnica para la elaboración del acero, fue ideada por Benjamin Huntsman, un relojero que buscaba un acero adecuado para los muelles y resortes de sus relojes. No fue hasta el año 1740 tras desplazarse a Handsworth cerca de Sheffield, y tras experimentar en secreto durante algunos años cuando perfeccionó el proceso. El sistema de Huntsman empleaba coque encendido en un horno capaz de alcanzar temperaturas de 1600 °C, en diez o doce crisoles de caolín, cada crisol contenía cerca de 15 kg de hierro. Cuando los recipientes estaban a temperatura blanca se les añadía el acero blister roto en pequeños pedazos de aproximadamente $\frac{1}{2}$ kg, y empleaba un flujo de aire para eliminar las impurezas. Se quitaban los crisoles cada 3 horas del horno, las impurezas brotaban a la superficie en forma de espuma y el acero fundido se vertía en lingotes. La empresa en Sheffield: Abbeydale Industrial Hamlet ha preservado este método desde los tiempos de Huntsman y hoy en día todavía opera ante el público, elaborando varias veces al año acero de crisol en la propia factoría de Abbeydale.

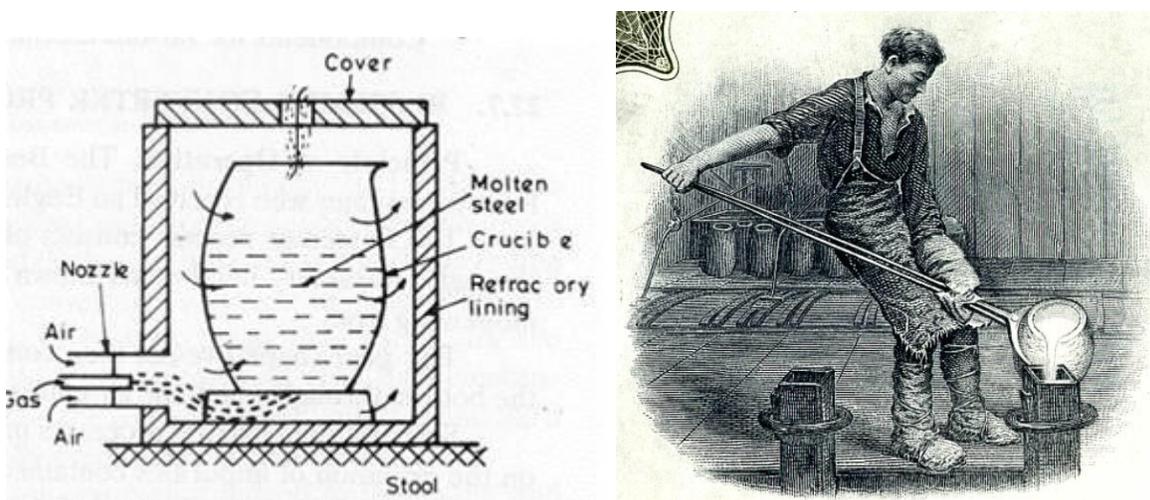


Figura 2.17. Obtención del acero de crisol

Antes de la introducción de la técnica de Huntsman, La ciudad de Sheffield producía cerca de 200 toneladas de acero al año basándose en el acero importado de Suecia. La introducción de la técnica de Huntsman cambió esta situación radicalmente; en cien años se pasó a una producción de 80,000 toneladas por año - casi la mitad de la producción total de Europa. Este descubrimiento permitió a la ciudad de Sheffield convertirse en un centro industrial de gran relevancia dentro del territorio europeo

Convertidor Bessemer

En 1856, el inventor inglés Henry Bessemer patentó un método más barato para fabricar acero en gran escala. Un chorro de aire atravesaba el hierro fundido y quemaba todo el carbono necesario para obtener el acero. Bessemer construyó un recipiente cónico de acero forrado de ladrillos refractarios que se llamó convertidor y que se podía inclinar para vaciarlo. El hierro fundido se vertía en el convertidor situado en posición vertical, y se hacía pasar aire a través de orificios abiertos en la base. El "soplado", que duraba unos veinte minutos, resultaba espectacular. El primer acero fabricado por este método era quebradizo por culpa del oxígeno absorbido.

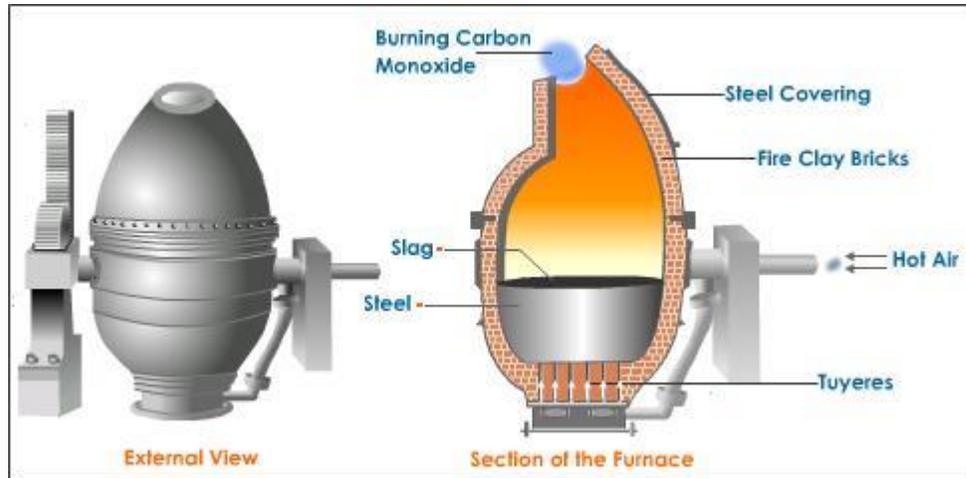


Figura 2.18. Aspecto externo y vista en corte de un convertidor Bessemer

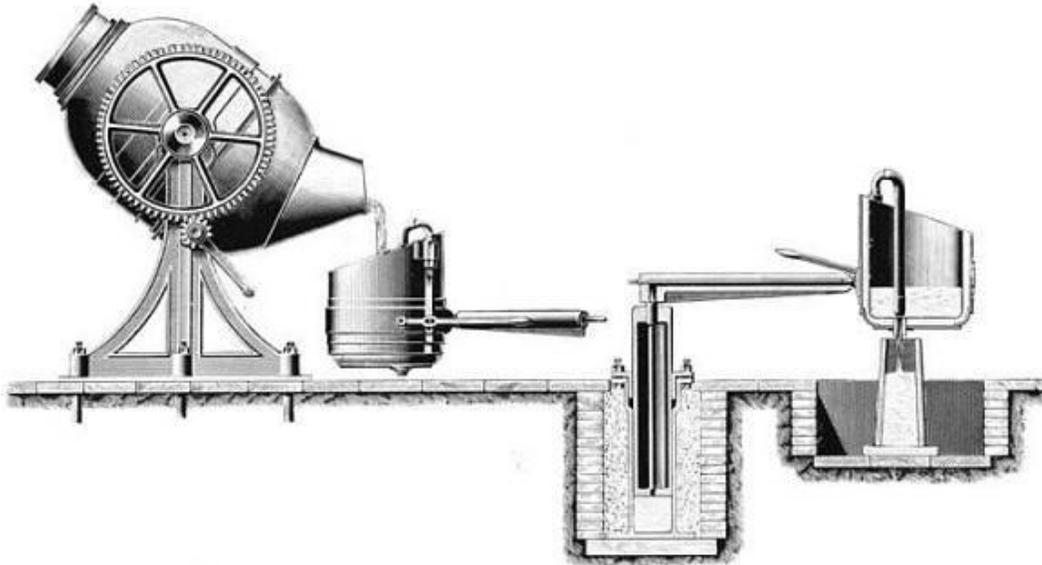


Figura 2.19. Esquema ilustrativo do processo de Bessemer

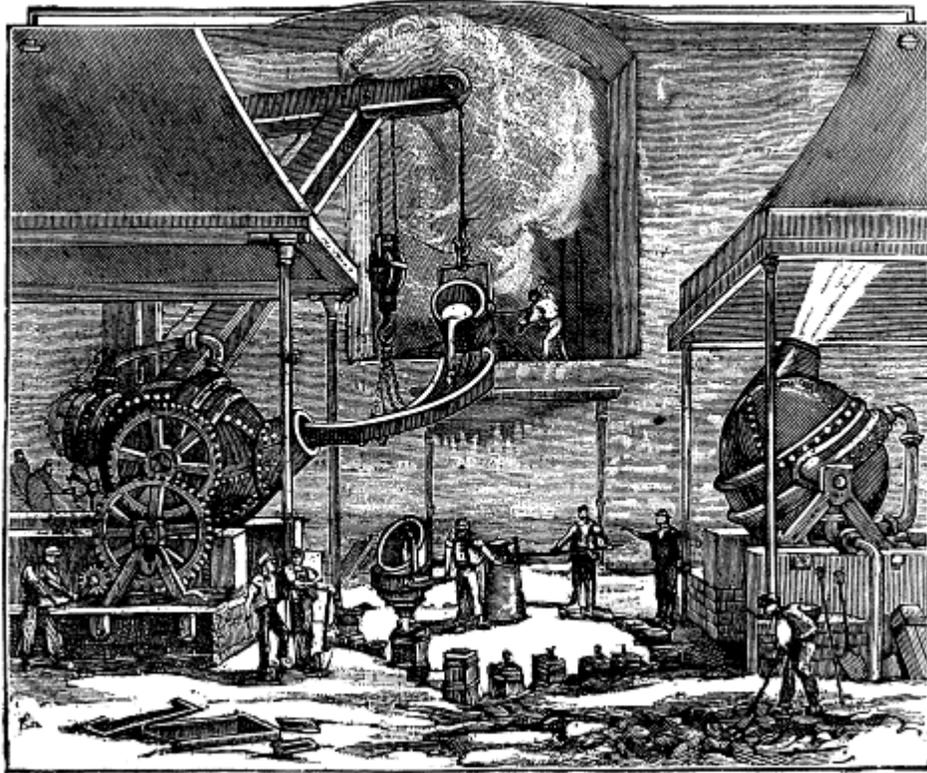


Figura 2.20. El proceso Bessemer para obtener acero



Figura 2.21. Convertidor de Bessemer en Plaza de la estación, Pittsburgh

Horno de solera abierta, 1864

El mismo año en que Bessemer presentó su procedimiento, los hermanos de origen alemán William y Friedrich Siemens estaban desarrollando un método para precalentar el aire inyectado a los hornos. A cada extremo del horno colocaron cámaras de ladrillos entrecruzados que se calentaban con los gases de la combustión y caldeaban después el aire que se inyectaba en el horno. Dos años más tarde, los hermanos Siemens patentaron un horno de solera para acero que incorporaba sus precalentadores o "regeneradores". Pero no tuvo éxito hasta que lo mejoraron dos hermanos franceses, Pierre y Emile Martín, en 1864.

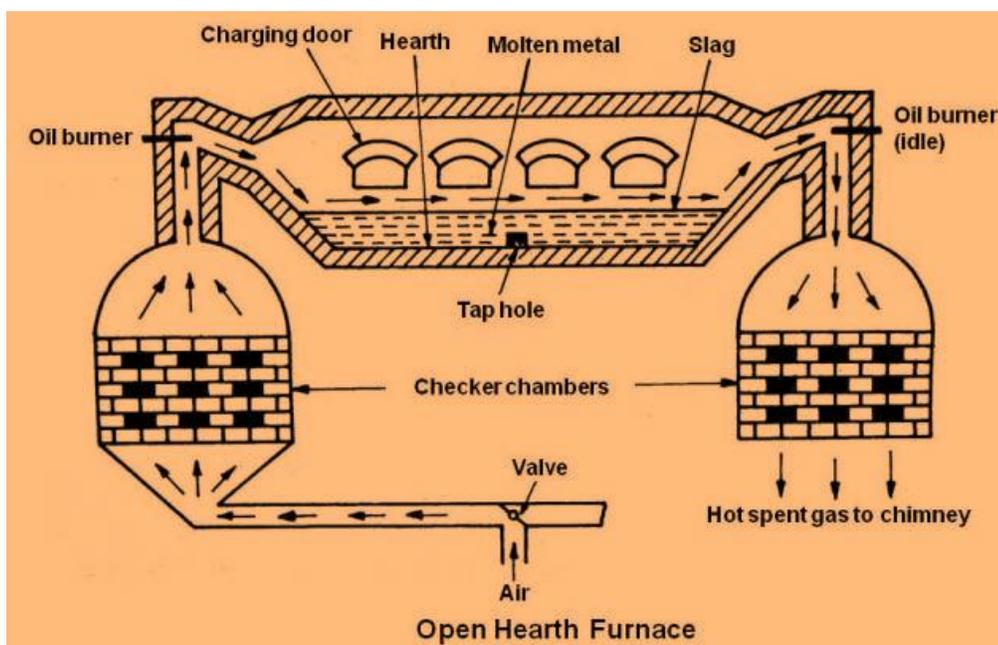


Figura 2.22. Horno de solera abierta.

Acero por arco eléctrico, 1902

William Siemens había experimentado en 1878 con la electricidad para calentar los hornos de acero. Pero fue el metalúrgico francés Paul Héroult (coinventor del método moderno para fundir aluminio) quien inició en 1902 la producción comercial del acero en horno eléctrico. Se introduce en el horno chatarra de acero de composición conocida y se hace saltar un arco eléctrico entre la chatarra y grandes electrodos de carbono situados en el techo del horno.

El calor desarrollado por el arco funde la chatarra y produce un acero más puro que el que ha estado en contacto con los gases de combustión. Se puede añadir mineral de acero para alterar la composición del acero, y cal o espato flúor para absorber cualquier impureza.



Figura 2.23. Acero obtenido mediante arco eléctrico

Proceso del oxígeno básico, 1948

Tras la Segunda Guerra Mundial se iniciaron experimentos en varios países con oxígeno puro en lugar de aire para los procesos de refinado del acero. El éxito se logró en Austria en 1948, cuando una fábrica de acero situada cerca de la ciudad de Linz y de Donawitz desarrolló el proceso del oxígeno básico o BOF.

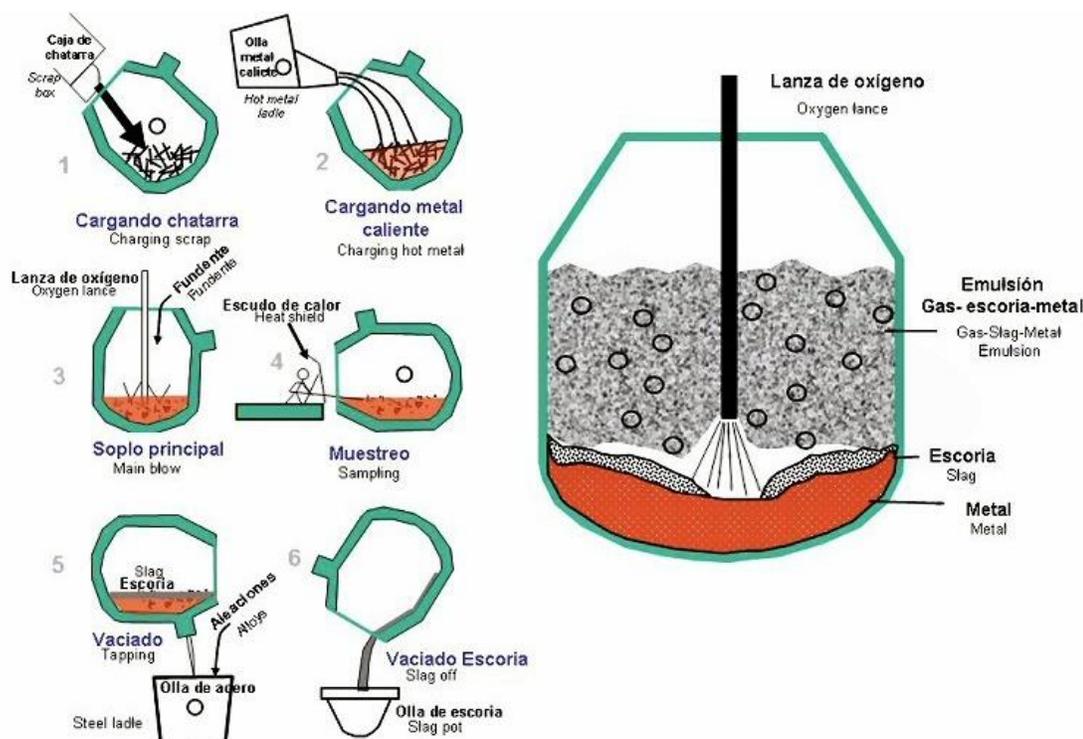


Figura 2.24. Obtención del acero mediante el proceso BOF

Colada continua, 1950

En el método tradicional de moldeo, el acero fundido del horno se vierte en moldes o lingotes y se deja enfriar. Luego se vuelven a calentar los lingotes hasta que se ablandan y pasan a trenes de laminado, donde se reducen a planchas de menor tamaño para tratamientos posteriores.

En la colada continua, se funden barras macizas, barras huecas (bujes) y perfiles de hasta 3000 mm de longitud; el proceso de fabricación consiste en pasar el material de estado líquido a sólido a través de una matriz de grafito que trabaja dentro de un sistema de enfriamiento. Este sistema de fundición es el más moderno y avanzado, utilizado en países altamente industrializados, y por él se obtienen materiales de excelentes propiedades.

Características

- *Estructura fina y uniforme, exenta de porosidad, segregaciones e inclusiones.
- *Excelentes propiedades mecánicas.
- *Perfecta estanqueidad a elevadas presiones.
- *Excelente acabado superficial.

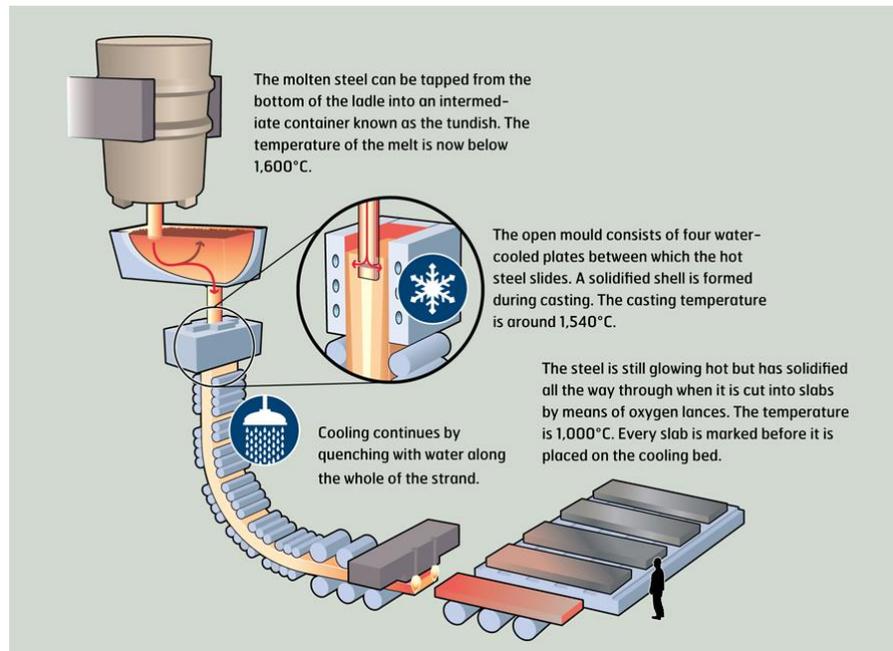


Figura 2.25. Proceso de colada continua (http://carbosystem.com/wp-content/uploads/Continuous_casting1.jpg)

Finalmente, en la figura 2.26 se pueden ver los procesos de obtención del acero en los últimos 200 años.

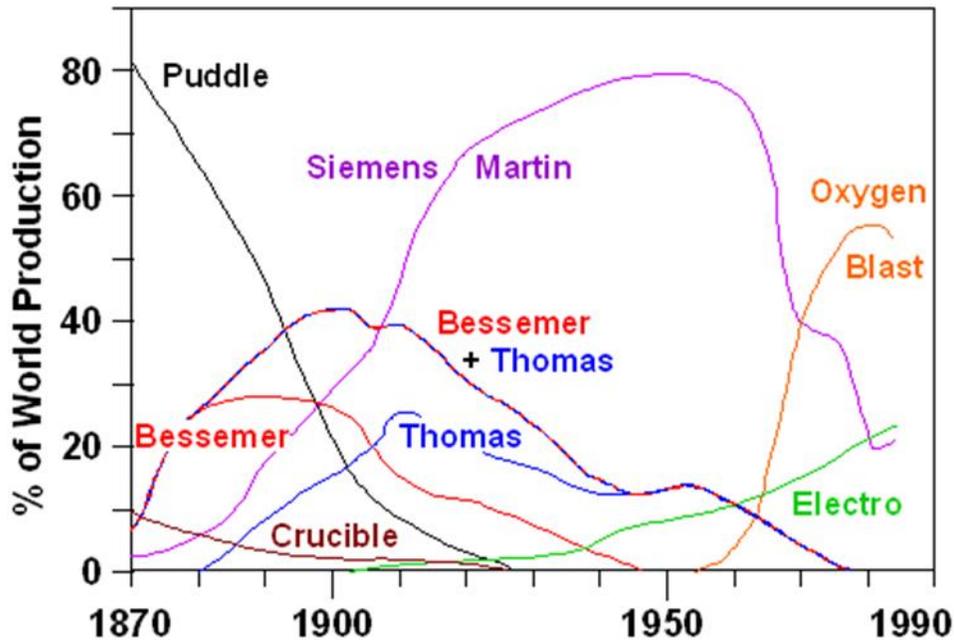


Figura 2.26. Procesos más utilizados en la producción de acero

El arrabio (<https://es.wikipedia.org/wiki/Arrabio>)

El arrabio es un producto intermedio del proceso de fundición de las menas del hierro tratadas con coque como combustible y caliza como fundente. También se han usado como combustibles el carbón vegetal y la antracita. Se obtiene como material fundido en un alto horno mediante reducción del mineral de hierro. Se utiliza como materia prima en la obtención del acero en los hornos siderúrgicos. El arrabio tiene un alto contenido en carbono, generalmente entre 3,5% y 4,5%, además de sílice y otras impurezas, que lo hacen muy frágil por lo que tiene limitados usos como material.

Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0.5 y 3% de silicio, del 0,25% al 2,5% de manganeso, del 0.04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre. Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como amianto (asbesto) o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los

materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno.

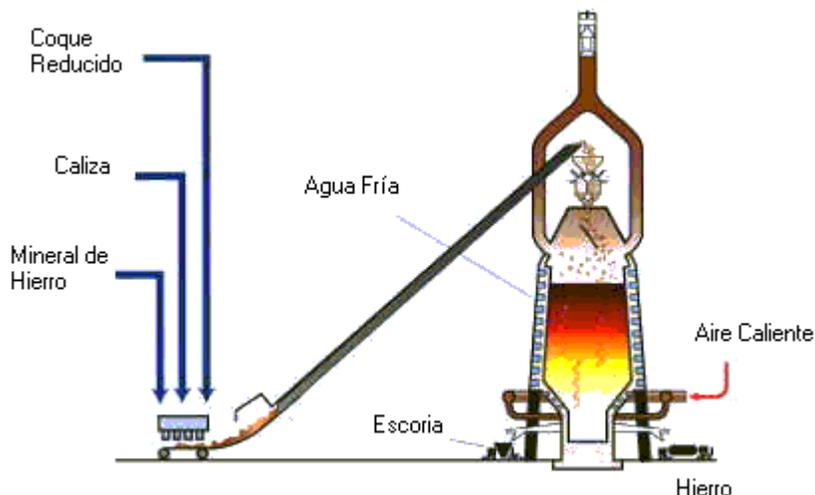


Figura 2.27. El alto horno.

Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas, que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos. La escoria que flota sobre el metal fundido se retira una vez cada dos horas, y el hierro se sangra cinco veces al día.

El aire insuflado en el alto horno se precalienta a una temperatura comprendida entre los 550 y los 900 °C. El calentamiento se realiza en las llamadas estufas, cilindros con estructuras de ladrillo refractario. El ladrillo se calienta durante varias horas quemando gas de alto horno, que son los gases de escape que salen de la parte superior del horno. Después se apaga la llama y se hace pasar el aire a presión por la estufa. El peso del aire empleado en un alto horno supera el peso total de las demás materias primas.

El hierro fundido <http://www.ferrotechnikcolombia.com.co/hierro-fundido/>

El hierro fundido es una aleación de hierro con un contenido del 2% al 6.7% de carbono, cantidades variables de silicio y manganeso y trazas de impurezas tales como azufre y fósforo. Este se fabrica mediante la reducción del mineral de hierro en un alto horno. La temperatura de fundición normalmente oscila entre 1150°C y 1200°C. El hierro líquido se funde o se vierte y endurece en lingotes en bruto conocidos como lingotes de arrabio que se mezclan nuevamente

con chatarra y elementos de aleación en hornos de cubilote y se vuelven a fundir en moldes para fabricar diversos productos. Las aleaciones de hierro con cantidades inferiores de carbono se conocen como aceros..

El hierro fundido tiende a ser quebradizo, a excepción de los hierros fundidos maleables. Con un punto de fundición relativamente bajo, buena fluidez, capacidad de fundición, excelente maquinabilidad, resistencia a la deformación y al desgaste, los hierros fundidos se han convertido en un material de ingeniería con diversidad de aplicaciones y son utilizados en tuberías, aparatos, y partes para la industria automotriz tales como cabezales de cilindro (uso en declive), bloques de cilindros y cajas de cambios (uso en declive). Son resistentes a la destrucción y debilitación por oxidación (herrumbre).

Historia del hierro fundido:

Los primeros utensilios de hierro fundido datan del siglo V a. C., y fueron descubiertos por arqueólogos en la región que hoy se conoce como Jiangsu en China. Esto se comprobó a partir del análisis de las microestructuras de los artefactos. Puesto que el hierro fundido es relativamente quebradizo, no es adecuado en casos que requieran un borde cortante o flexibilidad. Es resistente a la compresión pero no a la tensión. El hierro fundido se inventó en China en el siglo V a. C. y se vertía en moldes para fabricar arados y vasijas tanto como armas y pagodas. Aunque el acero era preferible, el hierro fundido era más económico y por lo tanto más utilizado en la fabricación de utensilios en la antigua China, mientras que el hierro forjado o el acero se utilizaba en la fabricación de armas. Los chinos fabricaron hierro fundido ya en el siglo V a. C., y en Europa, se empezó a producir de forma esporádica a partir del siglo XIV. Se introdujo en Inglaterra alrededor del año 1500; y en América, los primeros talleres de fundición se establecieron sobre el río James, Virginia en 1619.

A finales del siglo XVIII el hierro fundido comenzó a ser utilizado extensamente en Inglaterra en la construcción, como puentes y otras estructuras. El primer puente metálico de Europa en Ironbridge sobre río Severn fue construido en 1799 y contiene 400 toneladas de hierro fundido.



Figura 2.28. Puente sobre el río Severn construido en hierro fundido: Iron Bridge, Inglaterra.

El famoso Palacio de Mysore en Mysore cerca de Bangalore, construido por el Wodeyars en la vuelta del siglo fue el primer palacio real en la India en hacer uso del hierro fundido en arquitectura



Figura 2.29. Palacio de Mysore cerca de Bangalore, India

Durante los siglos XVIII y XIX, el hierro fundido era un material de ingeniería más económico que el hierro forjado porque no requería refinación ni trabajo con martillos, pero era más quebradizo y de menor resistencia a la tensión. No obstante, su capacidad portante lo convertía en el metal estructural más importante y fue utilizado en los primeros rascacielos. En el siglo XX, el acero reemplazó al hierro fundido en la construcción pero el hierro fundido continúa teniendo muchas aplicaciones industriales.

Es impresionante notar que China 200a.C hizo hierro fundido. En Europa el uso de hierro fundido no fue apreciada hasta después sobre el siglo XIV cuando fue utilizado para la fabricación de cañones.

Tatara - hierro japonés

Hierro que ha sido producido en Japón por unos 1000 años. Fue introducido desde Corea en la segunda mitad del siglo VI. En la era Meiji, el hierro y el acero fueron importados de Europa y el proceso de Tatara casi extinto. Hay un resurgimiento en el interés en el proceso de Tatara. Hasta ahora este proceso de fabricación antigua se conserva en Yokota en la Prefectura de Simane. El horno tipo caja Tatara está hecho de arcilla y es aproximadamente de 3 m de largo, 1,5 m de ancho y 1,2 m de altura (Figura 10). El uso del polvo de la arena de hierro es característico de este proceso. Condujo a la producción de tama-hagane (Figura 11), el término japonés para este material único. Ésta era la fuente principal para la fabricación de la espada japonesa.



Figura 2.30. Vieja pintura del sistema tradicional Tataru para obtener acero

(<http://www.jsme.or.jp/tsd/ICBTT/conference02/TatsuolNOUE.html>)

3. LOS ORÍGENES DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA MEXICANA. CONTINUIDADES Y CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN EL SIGLO XIX

Gerardo Sánchez Díaz. Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Hasta ahora, son pocas y fragmentarias las investigaciones que se han ocupado del rescate de la historia de la industria del hierro en México. Los pocos estudios que se han hecho, casi siempre parten del inicio de las empresas instaladas a fines del porfiriato y se centran en su evolución durante el siglo XX. A partir de las pistas que dio Modesto Bargalló en 1955 y que amplió en 1965, nos hemos propuesto acercarnos a los orígenes de la industria siderúrgica mexicana. Partimos del establecimiento pionero de la Ferrería de Coalcomán, Michoacán en 1805 por acuerdo del Real Tribunal de Minería con la finalidad de atender los reclamos de abasto de hierro a las empresas mineras novohispanas. El hierro ha sido un elemento indispensable para el desarrollo de diversas actividades productivas, agrícolas, industriales y de la propia explotación minera. Antes de que se estableciera la ferrería de Coalcomán, todo el hierro que se usaba en la Nueva España provenía de Europa, especialmente de Inglaterra, Alemania y España, pero ese flujo se interrumpió por el conflicto bélico que se dio durante el reinado de Carlos IV, entre Inglaterra y España.



Figura 3.1 Ubicación de Coalcomán, Michoacán.

Un hecho significativo en el caso de la herrería de Coalcomán, fue que además de que aportó el metal necesario para mantener la operación de los centros mineros de Guanajuato, Zacatecas y otros lugares, el hierro que se producía en ese establecimiento también sirvió para la elaboración de piezas de artillería, municiones, lanzas, cuchillos y machetes, con los que se pertrecharon los ejércitos insurgentes en los primeros años del movimiento de independencia.

De esa forma, las primeras herrerías se establecieron y funcionaron en lugares alejados a los grandes centros de población. La principal razón tuvo que ver con que casi siempre se buscaron sitios cercanos a los yacimientos ferrosos, en donde hubiera agua y recursos forestales suficientes para el abasto de materiales y combustible que permitieran el funcionamiento de las fundiciones. Su distribución abarca estados del norte, del occidente y del centro del país. Se trata, y eso queda claro, de esfuerzos aislados emprendidos por particulares que, sin embargo, tuvieron como propósito común producir el hierro que tanto se necesitaba para cubrir las necesidades del desarrollo nacional. Lo que hicieron los primeros gobiernos del México independiente a favor de las herrerías, fue dictar medidas restrictivas a la introducción de hierro del extranjero para evitar que la competencia frenara el desarrollo de las primeras empresas mexicanas.

Para algunos casos, la información documental es amplia y en forma seriada, eso nos ha permitido profundizar en detalles, en otros, los datos muchas veces fragmentados, proceden de notas periodísticas y de informes generales de la época pero que articulados nos han permitido tener una idea de cómo funcionaron algunas de las pequeñas empresas dedicadas a la explotación y beneficio del hierro.

Los avatares de la Herrería de Nuestra Señora de Guadalupe de Coalcomán

En los últimos años del siglo XVIII y primeros del XIX, la minería novohispana enfrentó graves obstáculos como la insuficiente provisión de azogues y la carestía del hierro empleado en la elaboración de herramientas utilizadas en las minas, metal que era traído de Vizcaya. Por ese tiempo, a causa de la guerra entre Inglaterra y España, se suspendieron los envíos de hierro y azogue. Ante esta grave amenaza que podría ocasionar la paralización completa de los trabajos mineros, el Real Tribunal de Minería comisionó al mineralogista Andrés Manuel del Río,

profesor del Real Colegio de Minería, para que estableciese una ferrería en Coalcomán, en la vieja Provincia de Michoacán.



Figura 3.2 Andrés Manuel del Río.

Con su diligencia característica, el ilustre profesor madrileño se trasladó a la mencionada población, que en ese tiempo era un reducido asentamiento poblado en su mayoría por indígenas. Desde su llegada a Coalcomán, Andrés Manuel del Río tuvo que lidiar con la carencia de elementos de toda clase y hasta con la incomprensión de las autoridades locales que ahuyentaban a los trabajadores con absurdos sistemas de tributación y ponían trabas con los sistemas alcabalatorios.

Tal era el panorama que el mineralogista Andrés Manuel del Río encontró a su llegada a Coalcomán. En breve tiempo efectuó varios recorridos para reconocer los yacimientos ferrosos y determinar cuáles eran los de mayor importancia. Según afirma Santiago Ramírez, el trabajo de Andrés Manuel del Río desde su llegada a Coalcomán fue intenso. Se ocupó de reconocer los criaderos de hierro y las fundiciones ya establecidas y encontró que eran defectuosas, entre otras razones, por el sistema de soplo que utilizaba brazos. Notando la escasez de gente, que se propuso remediar. Para ello, contrató operarios en Zapotlán el Grande, Apatzingán y Colima. A la vez recogió noticias de la localidad, y conforme a ellas, con fecha 8 de enero de 1806, indicó al Tribunal la conveniencia de estudiar con mayor detenimiento los criaderos de Halo y

San Sebastián, inmediatos a Zapotlán el Grande, cuya indicación aprobó el Tribunal con fecha 29 de enero del año de 1807.

El 2 de marzo, Andrés Manuel del Río rindió al Real Tribunal de Minería el informe correspondiente, en el que decía: "*y del reconocimiento hecho de los criaderos de Halo Chico, junto a Maquili, del de San Sebastián, junto a Zapotlán el Grande, y de los del Halo Grande, con una travesía de 200 leguas (1 legua= 4.82 km), resultó que los mineros de Zapotlán y del Halo Grande, de hierro magnético y rojo con algún espejado, todo revuelto, son poco a propósito para fundirlos a la catalana, y menos para producir acero, aunque en el país saquen alguno a costa de muchísimo carbón. Los del Halo Chico, de hierro pardo, como aquí [en Coalcomán], y de aguas y maderas abundantes, serían muy buenos si no fuera por la escasez de gente y la dificultad de la extracción del hierro y acero que se labrase, mayor aún que la de aquí [en Coalcomán], por cualquier rumbo que se quisiera hacer, en virtud de la aspereza de los caminos*".

A su regreso de esa larga expedición, Andrés Manuel del Río se ocupó en buscar un sitio a propósito para utilizar el agua del río Ixtala, en las instalaciones de la ferrería. Se decidió por uno que, necesitando 3,300 varas de zanja, era preferible a otro que no demandaba más que 500, por tener en éste que abrirse el acueducto en roca dura, y aquel en tierra vegetal. En poco tiempo se construyó un canal de casi tres kilómetros de longitud para aprovechar las aguas del río Ixtala para mover los martinets utilizados en la trituración de los minerales ferrosos, antes de colocarlos en los hornos. Por otro lado, reunió víveres para sus trabajadores y se dedicó a construir los hornos, yunques y martinets, indispensables para el inicio de los primeros ensayos de la ferrería.

Cuando al parecer todo estaba resuelto para operar las instalaciones, el profesor del Río se enfrentó a diversos problemas técnicos, que gracias a su ingenio pudo resolver, como lo relataría en un informe presentado en 1810, en el que dice: "Cuando fui comisionado por el Real Tribunal General de Minería, para establecer la Ferrería de Coalcomán, me creí dichoso por tener a mano la obra moderna, elegante y magistral de Lapeyrouse, la cual según su autor, es fruto de diez años de observaciones hechas, no en una, sino en varias ferrerías de su especie, me creí afortunado, digo, así como el que pensando tener que vadear un río caudaloso, se encuentra de improviso con un puente recién construido, que parece reunir la solidez a la hermosura. Y como se repite varias veces en dicha obra que el seguir sus reglas y preceptos es

el modo casi infalible de acertar, la consecuencia natural que yo sacaba era, que debía pegarme al pie de la letra y seguir las pisadas de mi mentor, temiendo solamente que se me ocultasen en alguna parte y me extraviase. Pero la instrucción que he sacado por lo general, aunque en algunas cosas me ha servido mucho, es: que el tono decisivo de nada sirve en las materias que esperan cada día nuevos progresos de la observación, y que a lo más se puede decir: repetid mis experimentos, y si no os salieren bien, variadlos conforme a los principios de una sana teórica: es decir en otros términos que los libros que se piensa escribir meramente para prácticos, son los que menos les sirven a los prácticos regularmente".

Más adelante, al hacer una valoración crítica del manual de fundiciones de Lapeyrouse, hecho con base y para realidades distintas a la ubicación geográfica de Coalcomán, el mineralogista madrileño dice: "Así me ha sucedido en la parte más importante de la fundición, las dimensiones de los hornos, que Lapeyrouse supone tan esenciales, que una pulgada de diferencia produce los resultados más funestos, y por esta razón se guarnecen traslados con chapas gruesas de hierro, para que no varíe la figura en las fundidas. Ahora pues al construir mi horno con la escala en la mano, hallé tanta ambigüedad, tanta confusión y hasta contradicciones, que aún el día de hoy ignoro, cuales son las decantadas medidas del autor: cosa bien extraña en un hombre que por lo general es bastante claro y muchas veces difuso, de suerte que no sé a qué atribuir su concisión y oscuridad en este punto. Una de dos: o él nunca midió los hornos por sí mismo, sino que se contentó con las medidas que le dieron, unas en un tiempo y otras en otro, según lo dislocadas que las pone, o quiso hacer misterio de la parte más esencial, y entonces pudo haberlo hecho de toda la obra, y haberla sepultado para siempre. No siendo mi ánimo deprimir su mérito, me atengo a lo primero, pues a lo que se dirige este discurso es a pedir luces a todos los inteligentes, para dar la mayor perfección a aquel establecimiento de Coalcomán".

Después de vencer diversas dificultades técnicas, se le presentaron otras en el momento de iniciar el proceso de operación de los hornos y en los primeros ensayos de fundición, como más tarde relató en uno de sus informes: "Yo sabía que el requisito necesario para fundir bien es que la llama circule perfectamente el todo el crisol, y así se hace la prueba antes de fundir, de echar unos carbones, y dar soplo a ver si este los hace girar alrededor. Jamás lo pude conseguir por las medidas del autor, [refiriéndose nuevamente a Lapeyrouse] y por lo mismo tampoco que se separase la escoria perfectamente del hierro pero lo conseguí por mis medidas que puedo mirar como propias, de que no hago misterio, y que pongo aquí en nota para no embarazar el

discurso. Todavía no hubiera llenado mi objeto, si sabiendo que el soplo debe ir derecho desde el principio hasta el fin, sin quiebras ni tortuosidades, no hubiese hecho girar el crisol alrededor de su centro, aproximándolo hacia la pared de la tobera una pulgada por el lado de la sangradera, y retirándolo otra por el opuesto, que es uno de dos métodos que propone el autor como absolutamente idénticos, pero ni lo son, ni el otro me han producido buenos efectos. Esto lo entenderá luego luego, cualquier práctico en estos hornos, y yo no me precio de más claridad, que la que es propia de Lapeyrouse en otros puntos, como es el de las bóvedas de soplo".

En el mencionado informe, Andrés Manuel del Río dio otros pormenores de cómo buscó sus propias alternativas técnicas para resolver los problemas que se le presentaron en la primera etapa de construcción de los hornos de la ferrería, dice: "Me salieron al principio algo bajas, aunque de las mismas dimensiones que trae el autor, [se refiere a la obra de Lapeyrouse] por no haber tenido entonces un barómetro. Aquí podría soltar la carcajada un práctico y exclamar: ¿qué tiene que ver el barómetro con una ferrería? Y sin embargo, es cierto que tienen estrecha relación. Las bóvedas que en país frío fundan perfectamente el hierro, en un país templado, en que el aire este más raro y tenga menos masa en un volumen dado deben no bastar. Por fortuna, pude aumentarles fácilmente cerca de cuatro pies de altura y conseguí el intento. El chasco habría sido si hubiese puesto fuelles de madera de las dimensiones de los de Europa, que no es tan fácil agrandarlos, como aumentar la caída del agua en una bóveda.

Después que tuve barómetro vi que se mantenía allí a trescientas líneas o veinte y cinco pulgadas, altura ciento ocho varas mayor que la de la Villa de Córdoba, que según D. Juan Josef de Oteyza es de mil y cuarenta varas sobre el nivel del mar; y contrayéndonos a nuestro objeto, el barómetro era una escala exacta de las variaciones diarias de los hornos por lo relativo al soplo. De esto no hablan palabra Lapeyrouse ni otros, sin duda porque no se les ofreció notar semejantes diferencias; pero establece el primero como regla casi general, que bóvedas altas o soplo fuerte produce hierro dulce, y bóvedas bajas o soplo flojo produce más acero, lo cual merece mucha restricción, a pesar de que parece conforme a teórica, pues con el soplo fuerte debía acabarse más pronto la fundida, tocarle menos carbón al hierro, y salir este menos acerado. En efecto reuní los soplos de los dos hornos para fundir en uno solo con ventajas aparentes al principio, aunque nunca me cuadró que subiese tanto la llama porque me indicaba que no se cebaba en el metal, y que el crisol era chico para tanto soplo; y examinada bien la

cosa el invierno pasado en que el aire estaba más denso, vimos con admiración bajar las gotas de metal fundido por delante de la tobera enteramente negras, esto es, que iba atropellada la fundida, que las partes terreas vitrificadas arrastraban consigo las metálicas, y no se hacía la separación correspondiente; y en prueba de ello en cuando disminuí el soplo, bajaban las gotas blancas y brillantes".

Finalmente, después de practicar varias experiencias de ensayo-error y superar diversas dificultades, Andrés Manuel del Río advirtió que para tener éxito en la empresa de fundición, además de las adaptaciones tecnológicas también era necesario tomar en cuenta las características físicas de la composición orgánica de los minerales ferrosos empleados: "De este hecho inferí, que hay metales que no dejan fundirse apresuradamente, por ejemplo, el de Coalcomán, que es un hierro pardo con mucho manganeso, el cual necesita acaso fundirse lentamente con el hierro, y le da quizá el aguante, la consistencia y dureza que lo caracterizan, no necesitando que se calcen las bocas ni las cabezas de las barrenas, bien que hay hierro fuerte con las mismas propiedades, al que no se le supone manganeso ninguno; no obstante cuando sale granujiento en la fractura y agrio, como sucede pocas veces, pienso que es una liga verdadera de hierro y manganeso, acaso con exceso del último".

En su disertación, al hacer nuevas reflexiones sobre los modelos tecnológicos recomendados a los fundidores en la obra de Lapeyrouse, en forma crítica, de acuerdo a sus experiencias en la ferrería de Coalcomán, Andrés Manuel del Río comenta que el experto en fundición también tenía que tomar en cuenta otros elementos, sobre todo los minerales asociados a las sustancias ferrosas, como el manganeso, del que dice que, "el influjo de este en la formación del acero lo confiesa el autor, [nuevamente se refiere a Lapeyrouse] pues observó que siempre que abundaba en los metales, salía mayor cantidad de acero en todas las ferrerías generalmente, y que cuando escaseaba o faltaba del todo, salía menos o nada absolutamente, y en su lugar hierro solo. A renglón seguido, se le olvida, y sale con la novedad de que el hierro espático no produce acero, siendo así que tiene una cuarta parte de manganeso, que todo el mundo lo llama metal de acero por excelencia, y que acredita serlo en Estiria, donde se fabrica tanto, y en nuestra España donde era tan famoso el acero antiguo; después de esto vuelve a contradecirse, afirmando que lo producen las hematinas en abundancia. La verdadera hematina o sanguina que es la roja, no produce acero por ningún método conocido, sino por el de cimentación, que conviene a todo hierro bien labrado, y solo la parda o hierro pardo por el manganeso que contiene, y quizá

también por estar revuelto con sus minerales. Desde la primera vez que leí esta obra, había notado este trastorno de ideas mineralógicas, pero no lo extrañé mucho, porque puede uno ser buen fundidor y mal mineralogista".

Por fin llegó el gran día en que Andrés Manuel del Río pudo ver los primeros resultados. Según estima uno de sus biógrafos, el 29 de abril de 1807, -fecha que debe señalarse en los fastos de la industria siderúrgica- la Ferrería de Coalcomán produjo el primer hierro, que resultó de muy buena calidad.

Una vez que fueron superados los problemas técnicos, e iniciadas las primeras experiencias en la producción del hierro, se tuvieron las primeras muestras que resultaron ser de buena calidad.

También se hicieron correcciones a las imperfecciones advertidas en las primeras experiencias y se procedió a nuevas horneadas, de las que sacaron de dieciocho arrobas de mineral, se obtuvieron cuatro arrobas y diecisiete libras de hierro de buena calidad. "En estas experiencias hubo un incidente que pone de relieve la lealtad y modestia del Sr. del Río, de cuyas cualidades más que de un testimonio encontramos en su ejemplar y larga vida. Trabajaba a su lado un maestro herrero llamado Dionisio Pillado, quien creyéndose más competente que su entendido director, pidió a éste uno de los hornos para hacer unos ensayos a su modo y el Sr. del Río se los franqueó luego luego... el resultado fue poco satisfactorio y el Sr. del Río al dar cuenta al Tribunal dice con una moderación que le honra Pillado no ha salido muy bien; pero son los primeros experimentos". Sin embargo, el horno quedó inutilizado y hubo necesidad de reponerlo casi por completo. De esa forma, de los errores se sacaron nuevas experiencias. Sólo así, este primer modelo científico y tecnológico, plantado en tierras michoacanas logró consolidarse.

Poco después de esa contingencia, y tomando nuevas precauciones, se llegó a mejores resultados, según se desprende del informe que con fecha 12 de mayo de 1807, Andrés Manuel del Río remitió al Tribunal de Minería, en el que en cierto sentido triunfal decía: "En cinco o seis horas fundo veinticuatro arrobas de metal crudo, y saco zamarras caldeadas de seis, siete, y siete y media arrobas de hierro estirado, tanto que como se puede con el pequeño martinete, al que estamos tratando de sustituir por otro mayor, mientras Pillado acaba los cilindros. Sin embargo, no me doy por satisfecho, y espero más producto de mis hornos franceses en cuanto

los fundidores se impongan mejor en la maniobra de ellos, por estar acostumbrados solamente al castellano".

El 12 de agosto de ese año, el director de la ferrería presentó nuevas evidencias de que el trabajo continuaba con éxito y se hacían esfuerzos por alcanzar mejores resultados, dice: "Esto cada día va mejor, a Dios gracias. Antes de ayer fundí en seis horas y media, treinta y seis arrobas de una clase de metal crudo, y el producto fue nueve arrobas y cinco libras de hierro; y ayer he fundido la misma cantidad de otro metal, también crudo, en el mismo tiempo y me ha dado una hermosa zamarra de once arrobas y diez libras. Sigo sacando bolas o zamarras de once y doce arrobas, limpias, en el espacio de seis a siete horas y de cualquier modo están ya vencidas las dificultades de la fundición, de suerte que no necesito realmente de fundidor ninguno".¹⁵

No obstante los buenos resultados que hasta esa fecha se obtenían, el trabajo en la ferrería se vio nuevamente afectado por la poca pericia demostrada por el auxiliar de fundición Dionisio Pillado, que por su falta de prudencia y cuidado en la operación de los hornos, fue separado de su responsabilidad como personal de apoyo en la ferrería. Esa situación trajo las primeras dificultades, ya que el mencionado fundidor presentó varias acusaciones en contra de Andrés Manuel del Río ante el Tribunal de Minería, mismas que fueron aclaradas más adelante. A mediados de diciembre de ese año ocurrió el fallecimiento, en Coalcomán, del administrador de los fondos de la ferrería, Juan Manuel López, quien fue sustituido en el cargo por el colegial de minería José Mariano de Oteyza, quien poco después, debido al aviso de una grave enfermedad de su madre, tuvo que viajar de urgencia a la ciudad de México en los primeros días de enero de 1808 y regresó hasta mediados de marzo, acompañado de otro estudiante de nombre Rafael Cardoso.

El exceso de trabajo y las presiones para vencer las dificultades operativas de la ferrería, pronto trajeron a Andrés Manuel del Río sus primeros quebrantos de salud, al presentarse síntomas de reumatismo, que le empezaron a afectar las articulaciones. Sin embargo, unos días de descanso le permitieron la recuperación y se reincorporó nuevamente a sus actividades encaminadas ahora a lograr el mejoramiento de las instalaciones y el sistema operativo de la ferrería.

Según el balance de los resultados obtenidos en la fundición, en el segundo semestre de 1807, por cada horneada de 36 arrobas de mineral, se obtenían entre 12 y 14 arrobas de metal

fundido. Así, entre mayo y noviembre, a pesar de las contingencias que trajo la temporada de lluvias se logró una producción de 2,200 quintales de hierro fundido de buena calidad, que casi en su totalidad fueron remitidos a la diputación minera de Guanajuato para su distribución y venta tanto a empresarios mineros como a los herreros que se encargaban de la elaboración de diversas clases de herrajes y herramientas agrícolas.

El 24 de octubre de 1808, quedó concluido un nuevo martinete con peso de 50 arrobas, pero poco después se presentó otro problema, su alumno Manuel de Herrera, que tanto le había auxiliado, pidió licencia para regresar a la ciudad de México a atenderse de una enfermedad. Sin embargo, el impacto de la producción de la Ferrería de Coalcomán, pronto se dejó sentir en las instalaciones mineras novohispanas, mediante envíos de remesas para la elaboración de las diversas herramientas requeridas para la extracción de minerales. Así, la calidad del hierro labrado en Coalcomán no dejaba que desear: *"de la primera remesa que hizo a Guanajuato, a donde llegó el 18 de agosto de 1808, el Sr. Casimiro Chovell, administrador de La Valenciana, tomó cuatro trozos para experimentarlos, y tan pronto como hizo la experiencia compró toda la cantidad existente; habiendo tenido igual acogida las remesas posteriores.*

El acierto con que fue establecido y guiado el tratamiento metalúrgico, unido a la buena clase del hierro, dieron el resultado que era de esperarse; y el mismo Sr. del Río, fijándose en las piezas más delicadas, en cuanto a que más necesitan toda la solidez y resistencia que sólo puede dar un tratamiento perfecto, las almadanetas de los mazos y las chapas de los morteros, afirma que estas piezas resultaron de mejor clase y de mayor duración que las de Vizcaya".

El 22 de febrero de 1809, el Tribunal de Minería pidió a Andrés Manuel del Río que volviera a la ciudad de México a pasar el tiempo de aguas y a restablecerse de los males que le aquejaban. Poco después le fue ratificado nuevamente ese ofrecimiento, de forma que el 7 de mayo, atendiendo tal petición, el mineralogista madrileño salió de Coalcomán con rumbo a Guanajuato y de ahí continuó a la Ciudad de México, dejando al frente de la ferrería a sus discípulos José Mariano de Oteyza y Manuel Cardoso.

Una vez que volvió a la ciudad de México, Andrés Manuel del Río presentó un informe de sus actividades realizadas en Coalcomán, que incluyó un reporte de los gastos efectuados en el proceso de construcción de las instalaciones de la ferrería, que según Santiago Ramírez, dice: *"En la cuenta presentada de los gastos, desde el 25 de noviembre de 1805 hasta igual fecha de abril*

de 1809, los gastos ascendieron a noventa y ocho mil quinientos nueve pesos y dos reales. Con una minuciosidad que revela su dedicación, con una exactitud que pone en relieve su lealtad y con un orden que es el mayor testimonio de sus dotes administrativas, presentó el día 9 de noviembre de 1810 la cuenta general de la negociación por los tres años y cinco meses que la tuvo a su cargo, en la que aparece un saldo a su favor de cuatrocientos dieciséis pesos y cinco reales".

Poco después de iniciada la insurrección de Dolores, el cura Miguel Hidalgo envió instrucciones a varias poblaciones invitando a sus simpatizantes a sumarse al movimiento insurgente. Las noticias del levantamiento pronto llegaron a la Villa de Colima y a principios de octubre de 1810, se unieron a la causa independentista los criollos Ramón Brizuela, José Calixto Martínez Moreno, apodado Cadenas, Pedro Regalado y Manuel Llamas, quienes al frente de más de un centenar de hombres iniciaron la campaña de apoyo al movimiento acaudillado por Hidalgo en varios pueblos del sur de Jalisco y el suroeste de Michoacán. Unos meses después, las tropas insurgentes al mando de José Calixto Martínez Moreno y Pedro Regalado llegaron a Coalcomán, se apoderaron de las instalaciones de la ferrería y se dieron a la tarea de transformar, auxiliados por los indígenas, el hierro fundido que encontraron, en armas para la causa insurgente. Así, *"los operarios se hicieron cargo y aprovecharon bien las enseñanzas de sus maestros, pues no solamente fabricaron armas sino municiones para los ejércitos revolucionarios. Las municiones de hierro hechas en Coalcomán fueron una novedad, pues los realistas no las hacía sino de bronce"*.

La noticia de que los insurgentes se habían apoderado de la ferrería y que estaban fabricando armas y municiones, pronto alarmó a las autoridades virreinales de Colima y la Nueva Galicia, ya que temían que una vez pertrechados, lanzarían una ofensiva sobre ciudades como Colima y Guadalajara. Por esa razón, el comandante realista José de la Cruz diseñó un plan de ataque a los insurrectos acantonados en Coalcomán. Sobre ello, Lucas Alamán escribió que, *"teniéndose noticia de que los insurgentes, dueños de la ferrería de Coalcomán, establecida por el Tribunal de Minería durante la escasez de hierro que causó la guerra con Inglaterra para proveer de éste a las minas, se aprovechaban de ella para fundir cañones, municiones y otros útiles de guerra y siendo de temer que desde aquel punto intentasen tomar Colima, hizo Cruz que marchasen desde esa ciudad dos divisiones, la una a cargo del subdelegado de la misma Juan Nepomuceno Cuellar y la otra bajo las órdenes del capitán D. Miguel de la Mora, para que siguiendo diversos caminos, cayesen a un tiempo sobre Coalcomán, impidiendo la fuga de los insurgentes. Esta combinación no pudo tener efecto por los obstáculos del camino que los de Coalcomán*

intentaron defender, aunque luego los abandonaron y Mora llegó antes que Cuellar a aquel mineral, en el que encontró gran cantidad de hierro fundido e inutilizó las máquinas no pudiendo dejar guarnición, con lo que se perdió el gasto muy considerable que se hizo para plantarlas".

La toma de Coalcomán y la ocupación de la herrería por parte de los realistas, ocurrió el 29 de noviembre de 1811. La acción fue descrita en un parte de guerra, publicado en la Gaceta del Gobierno de México, en donde se puede leer que Juan Nepomuceno Cuellar y Miguel de la Mora, "se apoderaron de los cañones y de muchas cureñas, que a toda prisa estaban labrando, herramientas y máquinas para montar por lo menos veinte, [cañones] encontraron también mil arrobas de hierro fundido y como ciento treinta quintales poco más o menos del llamado bergajón y mucha madera a manera de camas... Cuellar tuvo a sí mismo su encuentro en la marcha persiguiendo una avanzada de rebeldes que se apareció en el monte, llegó al paraje donde en punto ventajoso tenían dispuesta su fortaleza con estacada doble, vallado y troneras y no halló en ella más que utensilios de cocina, muchas vestimentas, veintitrés ridículos monos de trapo, bien que la gente destinó a perseguir la avanzada referida se trajo catorce caballos ensillados, algunas mudas de ropa, dos bastones, tres lanzas y una escopeta que abandonó aquella gente en su fuga".

Una vez que se retiraron las tropas realistas de Coalcomán, los insurgentes volvieron a ocupar el lugar, rehicieron, en parte, las instalaciones de la herrería y continuaron haciendo municiones y armas para la causa libertadora. Ante el temor de ser atacados nuevamente por los realistas, los jefes de la insurgencia dispusieron que parte del hierro fundido fuera llevado a otros lugares en los que se instalaron fraguas y talleres para hacer cuchillos, lanzas, machetes y piezas de artillería. Por lo menos, se tiene noticia de dos sitios, uno en el rancho de El Ciruelo y otro en la comunidad indígena de Maquilí. Al enterarse de ello, los comandantes realistas que controlaban Colima, lanzaron una nueva ofensiva en contra de los rebeldes de Coalcomán a fines de enero de 1813. Las tropas realistas, al mando de Manuel Basavilbaso, entraron al territorio insurgente por el rumbo de Coahuayana, en donde sorprendieron a un grupo de rebeldes y les hicieron cinco prisioneros y liberaron a catorce personas simpatizantes del rey que se encontraban detenidas. Luego marcharon sobre Maquilí en donde destruyeron las fraguas en las que los insurgentes hacían armas, detuvieron a ocho indígenas e hirieron a otros. Durante la marcha de los realistas a Coalcomán, al pasar por el Puerto del Ciruelo, sorprendieron a cien

indígenas honderos de las comunidades nahuas de Maquilí y Ostula que resguardaban un taller para la fabricación y reparación de armas.

Después de este descalabro, los insurgentes se dispersaron y más adelante se reunieron nuevamente en Coalcomán y desde ahí emprendieron campañas sobre varios pueblos del sur de Jalisco, e intentaron tomar nuevamente Colima. Además, se esforzaron en poner nuevamente en operación las instalaciones de la herrería para seguir haciendo armas y municiones.

En la primera quincena de febrero, los dirigentes de la insurgencia, Pedro Regalado, Manuel Llamas y Francisco Villavicencio, fueron aprehendidos durante la noche, mientras dormían, en Coalcomán y en medio de un gran sigilo fueron trasladados a Colima en donde las autoridades realistas les siguieron un juicio sumario y los condenaron a la pena capital.- Después de este acontecimiento, los insurgentes abandonaron nuevamente la herrería y se dispersaron. Lo mismo ocurrió con los habitantes de Coalcomán, que prácticamente quedó despoblado, de tal forma que en 1822 sólo se contabilizaban poco más de 60 habitantes.

En 1823, el empresario español Juan Bautista Binón solicitó al Tribunal de Minería que se le traspasara el derecho para reconstruir las instalaciones y operar la Ferrería de Coalcomán, con la finalidad de producir el metal que tanta falta hacía para el desarrollo del país. Al parecer, las gestiones se iniciaron en los primeros días de enero de 1823, ya que a mediados de ese mes la petición fue turnada al Ministro de Hacienda. Unos días después, el Ministro comunicó que la solicitud en los términos en que se había presentado era improcedente, debido a que Binón era extranjero y que solamente podía ser aviador de la herrería mediante un contrato que éste celebrara con el Tribunal de Minería, en el que debían especificarse con claridad las condiciones de su participación. Pronto se llegó a un acuerdo entre el empresario y el Tribunal, según se desprende del oficio enviado por el Ministro de Hacienda al Tribunal, en el que se informaba, "de la gracia hecha al Sr. Juan Bautista Binón, acerca de la Ferrería de Coalcomán".

Por otro lado, en el *Diario de Labores del Tribunal de Minería*, quedó registrada la información relativa a que el Ministro de Hacienda había otorgado a Juan Bautista Binón el privilegio exclusivo para trabajar algunas minas de azogue ubicadas en Chihuahua, según la aprobación que había dado el Congreso General. Sin embargo, es poco lo que se sabe de los trabajos emprendidos por Bautista Binón en Coalcomán. Según Modesto Bargalló, hay indicios de que el empresario procedió a la reconstrucción de la herrería entre el segundo semestre de 1823 y los

primeros meses de 1824. Pero debido a los nuevos intereses en las minas del norte, Juan Bautista Binón se vio obligado a ceder más adelante las instalaciones de la Ferrería de Coalcomán a Pedro Gutiérrez de Salceda y su socio el coronel Andrés Suárez de Peredo.³⁷ De esa forma, el 25 de noviembre de 1825, el traspaso fue legalizado mediante el acuerdo que tomaron los miembros del Tribunal General de Minería, quienes dieron instrucciones para que fueran enterados de ello los integrantes de la Diputación Minera de Guanajuato "para que se proceda con este conocimiento en el expediente de denuncia de que trata su oficio de diez y ocho de este mes".

Al día siguiente, 24 de noviembre de 1825, el Secretario de Cámara de la Nación, Antonio Silva, en su carácter de escribano receptor, decano de número de la Audiencia Territorial y Encargado del despacho de la Secretaría del Tribunal General de Minería dio el siguiente testimonio: "El señor don Andrés Suárez de Peredo, Conde del Valle de Orizaba y don Pedro Gutiérrez de Salceda, residentes en esta capital, a quienes doy fe y conozco dijeron: Que en atención ha haber hecho denuncia del criadero de hierro conocido bajo el nombre de Coatixtla, situado al norte oeste y tres leguas de distancia del pueblo de Coalcomán, ante la Diputación territorial de Guanajuato con el nombre de San Luis, como consta en su oficio que libró en diez y ocho del presente mes a los señores que componen actualmente dicho Tribunal General de Minería, como últimos poseedores de los citados criaderos, en la extensión de todas sus vetas y escarbaderos situándolos y emplazándolos para que con arreglo a lo que previenen las ordenanzas de la materia consintiesen o contradijesen el expresado denuncia, como así mismo lo hicieron presente los interesados por otro oficio de veinte y dos del mismo, en virtud del cual habiendo los señores de dicho Tribunal general tratado y acordado, sobre este caso, consintiendo y no oponiéndose en manera alguna al citado denuncia, ofrecieron los interesados satisfacer luego que se les de posesión todo el valor de los enseres y utensilios que en dicha negociación encontraren útiles y servibles. Y en remuneración de la condescendencia de los señores, ceder a los fondos de dicho tribunal, dos barras aviadas de las veinte y cuatro que debe tener la negociación".

Unos días después, Pedro Gutiérrez de Salceda pasó a Coalcomán a tomar posesión de los criaderos de hierro y acero. Además, en desempeño de comisión del gobierno del Estado de Michoacán, reconoció las 39 leguas de su costa; permitiéndole estas excursiones el conocer y apreciar las producciones de la naturaleza. "Lleno de asombro y desconfiando de que no sería

creído bajo su palabra, cuando hablase de aquella región desconocida, tomó muestras de multitud de objetos e hizo levantar una información completamente legalizada, que manifestó al gobierno referido".

Una vez que Gutiérrez de Salceda tomó posesión de las instalaciones de la ferrería, y de los criaderos de hierro ya concedidos, emprendió un amplio recorrido por la región en busca de nuevos yacimientos ferrosos y otros elementos que contribuyeran al éxito de la negociación. En uno de sus informes, escribió: "en las montañas de Coalcomán puede decirse, sin hipérbole, que se encuentra cuanto se contiene en la metalurgia: hay vetas de oro, plata, cobre, plomo, estaño, azogue, etc.; y una abundancia increíble de metales ferruginosos, en mantos, criaderos y rebosaderos capaces de abastecer a todo el globo por muchos siglos; y el acero natural es tan bueno, como el artificial de Alemania, conocido con el nombre de coronilla".

Posteriormente, el 19 de agosto de 1827, Gutiérrez de Salceda suscribió en Coalcomán un estudio sobre esa jurisdicción en el que hizo una amplia descripción de los recursos naturales y sociales del entorno, la riqueza de los bosques; la fertilidad de los suelos, propicios para el desarrollo de la agricultura, especialmente para los cultivos de maíz, añil, chile, plátano, café y palma de coco; así como acerca de la diversidad y la abundancia de la fauna silvestre. En su escrito, el empresario hizo notar, desde luego, el crecimiento de la población de Coalcomán y sus alrededores, motivado sin duda por el proyecto de apertura de la ferrería, que en su opinión daría ocupación a mucha gente. Dice: "este pueblo que en el año 1822 contaba con sesenta y seis almas, tiene hoy mil sesenta y una; cuyo asombroso aumento y que día a día va teniendo, se debe a la salubridad de sus climas, a la feracidad de su suelo, a la buena administración del pasto espiritual y al recomendable patriótico esfuerzo de un hijo del pueblo, quien a consta de su interés, ímprobo trabajo y dificultades que superó, reunió las pocas familias que vivían dispersas en los bosques, les ministró semillas, instrumentos de agricultura y toda clase de auxilio; y como otro Job, es considerado hoy padre de esta tribu, que le debe su existencia social".

Otro aspecto en el que Gutiérrez de Salceda centró la atención, fue la búsqueda de alternativas para mejorar las comunicaciones y sacar del aislamiento a la jurisdicción de Coalcomán. Pensaba que además de introducir mejoras a los caminos deberían buscarse puntos apropiados en la costa para promover la comunicación marítima. "En esta parte de la costa, -dice- hay muy buenos puntos para habilitación de puertos, y es el principal el que llaman San Telmo: tiene

bastante cala, y excelente abrigo del viento norte, por una gran cordillera de elevados cerros que formando la figura de una herradura, prestarían el más seguro resguardo a los buques; y desde este punto podría hacerse gran comercio de exportación e importación con San Blas, Acapulco, las Californias, Guayaquil y Panamá. Arribando a esta hermosa ensenada en diversas épocas algunos barcos, de varias naciones; y el gobierno español mantuvo siempre en él un vigía, y un destacamento para impedir el comercio clandestino. En las treinta y ocho leguas de costa hay buenas salinas, perlas, coral, carey y el caracol que produce el apreciable coacoyul, con cuya materia teñían los mantos de los antiguos emperadores y reyes mexicanos, de un bello y firmísimo color púrpura. ¡Artículos preciosos, con que enriquecerían los que se dedicasen a su extracción!".

Por otro lado, Gutiérrez de Salceda concluía que con el inicio de los trabajos de la ferrería, el crecimiento de la población experimentaría un nuevo desarrollo a la par del despegue económico que representaba el establecimiento industrial. Acerca de ello decía: "Ningún otro punto del continente septentrional posee como este cuantos elementos se requieren para su engrandecimiento; y el impulso que está próximo a recibir, en la explotación y beneficio de sus metales ferruginosos, aumentarán la población, dará ocupación a innumerables brazos que vagan por todas partes; los Estados Unidos de la Federación Mexicana no engrosarán ya los erarios extranjeros con los muchos millones con que los han enriquecido, en cambio del más necesario y útil de los metales: circularán en su seno, y se convertirán en propia sustancia aquellas grandes sumas. Y nuestros sabios gobiernos, general y del Estado, justos apreciadores de las grandes y útiles empresas, verán con sumo placer este nuevo establecimiento que beneficiará al grande Anáhuac, al Estado de Michoacán y especialmente al hermoso, fértil y bello Coalcomán".

Una vez que Gutiérrez de Salceda dio a conocer sus observaciones acerca de las riquezas naturales del territorio de Coalcomán, se dio a la tarea de redactar, el 19 de octubre de 1827, una representación dirigida al gobierno del naciente Estado de Michoacán, en la que anunciaban el pronto inicio de las operaciones de la ferrería que, en su opinión, constituía una verdadera fuente para el desarrollo económico y social de la entidad. Decía que "los empresarios han denunciado, tomado en posición y adquirido propiedad a dichos criaderos, mantos, rebosaderos y minas con arreglo a las Ordenanzas de Minería, en extensión de diez y ocho leguas de longitud y ocho de latitud, siendo tanta la abundancia, riqueza y variedad de sus metales ferruginosos que podrían abastecer al orbe por muchos siglos de cuantas clases de hierro y acero se han

conocido hasta hoy, siendo este natural de tan buena calidad como el artificial de Alemania que conocemos bajo el nombre de coronilla.

Para tan vasta negociación se otorgaron ya cuantiosos gastos en un edificio de cal y canto, un acueducto de dos mil quinientas varas de longitud para conducir el agua, ente principal de las máquinas y oficinas, un gran tanque para almacenar las aguas, canales surtidores; tres grandes martinets y un yunque de hierro que pesan doscientas veinte arrobas; cinco hornos castellanos, galeras, herramientas, utensilios, etc., siendo todo lo que se ha hecho hasta ahora una pequeña parte de lo que resta por hacer".

Más adelante, Gutiérrez de Salceda en su comunicación al gobierno de Michoacán daba mayores detalles de lo que seguía para completar el proyecto siderúrgico: "a más de la máquina de martinets, deben establecerse las de cilindros de que hacen uso los suecos para estirar el hierro y darle las distintas formas que sean convenientes. Se establecerán así mismo las que sirven para liquidar el hierro y construir toda clase de piezas que se llaman de colado o batido: se harán hornos franceses de soplo de agua y se establecerán por ramas las varias oficinas para armamento del ejército; herramientas de minería y agricultura; balastrados, rejas para balcones y ventanas, yantas para toda clase de carruajes, herrajes caballares y mulares, clavazón de todas clases y cuanto sea perteneciente al vasto ramo de ferragería; para cuyas cuantiosas inversiones cuenta la empresa con el numerario y fondos que sean necesarios".

Además, el empresario hizo ver al gobierno que tan promisorio establecimiento industrial sólo podría prosperar si contaba con el respaldo de las autoridades para atraer colonos a la región y con ello contar con suficiente mano de obra para las diferentes actividades productivas de la ferrería. Como proyecto alternativo para aumentar la población, el empresario propuso al gobierno del Estado, establecer un presidio en Coalcomán. Sobre ello dice: "este establecimiento que ha de proporcionar a la federación y especialmente a este Estado indecibles ventajas; no podrá tener efecto por la escasez que hay en Coalcomán de gente operaria, en razón a la feracidad de aquel suelo proporciona a sus habitantes una segura y abundante subsistencia, sin la necesidad de tirarse a trabajar duros y poco lucrativos. Más para superar este obstáculo han proyectado los empresarios promover ante las autoridades correspondientes del Estado el establecimiento de un presidio, a donde confinen a los delincuentes: a imitación de las naciones cultas que destinan al laborío de minas a estos seres desgraciados.

Las minas de azogue de Almadén de España igualmente que las de Alemania; las de carbón de piedra de Inglaterra; las de plata en Sajonia, etc., se trabajan con gente presidial, porque aquellos gobiernos han conocido que esta clase de ocupación es el mejor correctivo que se requiere en bien de la sociedad. Allá trabajan sin jornal; y en la empresa de Coalcomán pagará el que sea corriente en el país y del cual se les hará descuento, para vestuario, rancho y fondo con que se formará un haber que se les entregará a los reos cuando cumplan su condena y estos hombres a los que la patria separa de su seno por sus delitos volverán a ella corregidos, con un oficio que les ponga al descubierto de la indigencia y con capital para establecerse".

En su representación, Gutiérrez de Salceda se comprometió a entregar en tiempo breve al gobierno un proyecto para establecer el mencionado presidio y un plan social para la redención humanitaria de los reos y para atraer nuevos pobladores a la región. Advertía que para ello era necesario contar con tierras suficientes para promover el desarrollo agrícola y ganadero, además de garantizar el suministro de madera y leña, tanto para las necesidades de la empresa como de los nuevos pobladores.

Antes de su entrega formal al gobierno del Estado, la Representación suscrita por Gutiérrez de Salceda, redactada en seis pliegos escritos por ambos lados, contó con la debida certificación del Escribano Nacional y Público, Joaquín Aguilar, quien hizo constar que la Diputación Minera de Angangueo, había otorgado formalmente 13 pertenencias de los criaderos de hierro y acero ubicados en la jurisdicción de Coalcomán a favor de Pedro Gutiérrez de Salceda y el coronel Andrés Suárez de Peredo. En el documento notarial se asienta que, "con respecto a que el comisionado ciudadano Bartolomé Ávila, posesionó a los postulantes en seis pertenencias más, que llamó compensativas, y nombró: debíamos mandar y mandamos que las demás por denunciadas como si hubiesen presentándose previos requisitos de estilo y así éstas como las otras siete pertenencias quedan legítimamente amparadas en posesión a nombre de los Supremos Poderes de la Federación".

El 21 de noviembre, el gobernador José Trinidad Salgado remitió al Congreso del Estado para su análisis, tanto la aludida representación como la solicitud suscrita por Gutiérrez de Salceda y Suárez de Peredo, en la que con base en la Ley del 18 de agosto de 1824, pedían se les otorgasen las demasías de tierras mostrencas o baldías que hubiera en la Sierra Madre del Sur dentro de la jurisdicción de Coalcomán. El gobernador, que ciertamente simpatizaba con los

proyectos presentados por Gutiérrez de Salceda, sostenía que: "este gobierno opina que son aplicables a los interesados los privilegios legales que alegan, en cuanto a la grandiosa utilidad que con ello sobrevendrá a la República, al Estado y al lastimero Partido de Coahuayana".⁵¹

No se sabe con exactitud hasta qué grado de avance llegó la reconstrucción de la Ferrería de Coalcomán, entre 1827 y 1830, bajo la dirección de Pedro Gutiérrez de Salceda. Aunque sí hay constancia de que algo se hizo, cuando menos eso parece indicar Lucas Alamán, cuando en un informe fechado en 1829 decía que: "*En las minas de hierro de Coalcomán, en el Estado de Michoacán, se han emprendido también algunos trabajos por particulares mexicanos, más los movimientos del Sur han sido muy perjudiciales*". Por lo que respecta al proyecto de colonización propuesto por Gutiérrez de Salceda, también sufrió las consecuencias de los desajustes políticos. De ello dejó constancia el Secretario del Despacho de Gobierno en el informe presentado a la legislatura estatal, el 7 de agosto de 1829: "la colonización que fue motivo del interesante decreto Núm. 58 del Honorable Congreso pasado, debe tener muy benéficos resultados, especialmente en el nuevo Partido de Coalcomán; pero esta clase de empresas ha recibido un golpe muy considerable con los últimos acontecimientos políticos".

A pesar de la falta de éxito en los esfuerzos que se hicieron para restaurar la Ferrería de Coalcomán, todavía en 1843 Lucas Alamán valoraba la posibilidad de reemprender la negociación con el apoyo del gobierno. Argumentaba que, "las ferrerías deben ser consideradas no sólo como un ramo de la industria, sino como un elemento necesario para todos los demás, pues este es el que ha de producir las máquinas de que todos hacen uso. La escasez de este metal, en la última guerra de España con Inglaterra, que terminó en 1808, empeñó al Tribunal de Minería a hacer grandes esfuerzos para su explotación y elaboración, habiendo formado para este fin un grande establecimiento en Coalcomán... La guerra que empezó en 1810 hizo abandonar esta empresa y no se volvió a extraer ese metal... Sería de desear, para el fomento de este ramo, que el gobierno supremo contratase con las ferrerías existentes, o las que convenga fomentar, todas las balas y demás municiones para uso del ejército. Una contrata de esta especie, llegó a estar muy adelantada con los dueños de las minas de Coalcomán, las más favorecidas de la naturaleza, por la abundancia de bosques, aguas y demás ventajas que disfrutaban y que sin embargo, permanecen en inanición".

Sin embargo, el propio Alamán reconocía que mientras el país no estuviera en paz y las fuerzas políticas no arreglaran sus diferencias, tanto el desarrollo de la industria del hierro, como las otras actividades productivas y comerciales, no tendría éxito, como efectivamente sucedió.

La Ferrería de Piedras Azules de Durango

Por noticias aportadas por Modesto Bargalló en 1955, se sabe que en la primera mitad del siglo XIX, además de la Ferrería de Coalcomán funcionaron otras 5 fundiciones instaladas entre 1825 y 1850 en los actuales estados de Michoacán, Jalisco y Durango. Hablar de estas ferrerías, como sostienen Daniel Toledo Beltrán y Francisco Zapata, significa más que nada hablar *"de empresas pequeñas, unidades productivas relativamente frágiles, puesto que para el trabajo del hierro dependían del abastecimiento de mineral de hierro o chatarra que no eran de su propiedad; además, dependían de los carboneros que fabricaban el carbón vegetal para alimentar los hornos de fundición y no poseían transportes propios, por lo que tenían que pagar fletes caros, debido a la falta de caminos y carreteras adecuadas. En fin, estas y otras limitantes impidieron que las ferrerías pudieran contar con una estructura lo suficientemente sólida para ser empresas autosuficientes, dinámicas, poderosas"*.

En algunos casos, las ferrerías que funcionaron en la primera mitad del siglo XIX fueron simples fundiciones a manera de fraguas, que procesaban mineral a baja escala o producían hierros de baja calidad que se empleaban en la manufactura de herramientas agrícolas además de barras y picos para extraer minerales y para herrajes para las bestias de carga. La tradicional tecnología de las forjas catalanas, como es bien sabido, cuenta con una larga historia, principalmente en la industria siderúrgica española, de donde pasó a México. Modesto Bargalló considera que "un taller de forja o farga catalana constaba de uno, a veces de dos y en casos excepcionales hasta de tres hornos; trampa de agua para el soplo de aire; un martillo o martinete movido por rueda hidráulica. Podía tener otros martillos más pequeños para un segundo o ulterior forjado del hierro obtenido en el horno. Grabados de horno, e incluso del horno con su trampa, eran corrientes en las obras de metalurgia, en los textos de Química y hasta en diccionarios enciclopédicos".

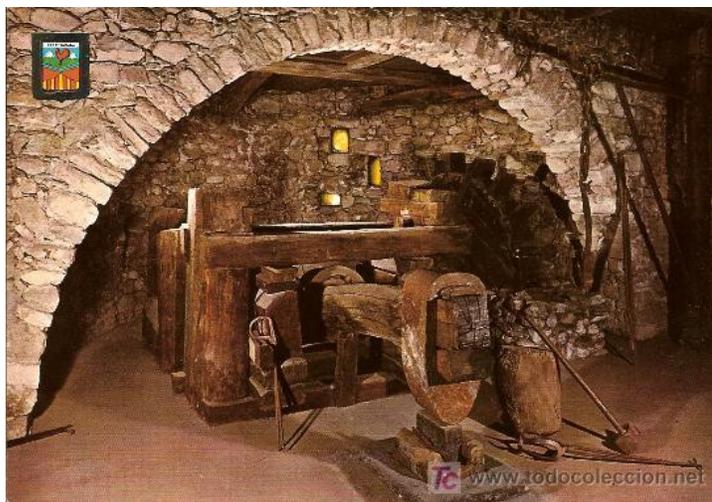


Figura 3.3. Farga catalana Fathi Habashi Laval University, Quebec City, Canadá

Por otro lado, Carmen Ceballos Cuerno asegura que "las ferrerías solían tener dos ruedas hidráulicas, cuya construcción era responsabilidad del maestro de hacer ferrerías y eran siempre verticales, de alimentación superior. Se situaban en la estolda, debajo del tímpano, del cual recibían el agua a través de unos cocinos u orificios cuadrados cubiertos por los chimbos, especie de tapones que regulaban la caída de agua accionados por unas pértigas desde el interior de la ferrería por los operarios. Movían el mazo y los barquines mediante unos ejes de roble, llamados respectivamente de majar, o mayor, y de sonar, a los que estaban unidos por cuatro piezas cuadrangulares de roble llamadas cruces".

Según la misma autora, en las llamadas ferrerías menores, como las que funcionaron en México en la primera mitad del siglo XIX, "eran unos edificios muy similares a las ferrerías mayores: utilizaban energía hidráulica para mover los mazos y fuelles y su combustible era el carbón vegetal. Su función era transformar y reducir los tochos de hierro (materia prima base) procedentes de las mayores barras, es decir, en piezas semielaboradas, en hierros comerciales de forma y tamaño diversos, según la demanda del mercado; bien para los herreros que las empleaban para fabricarlos en las fraguas".

Por lo que se refiere a la tecnología siderúrgica del alto horno, se tiene noticia de que se hicieron algunos experimentos al finalizar la primera mitad del siglo XIX que resultaron fallidos. Debe quedarnos claro que "la tecnología utilizada por las ferrerías en la primera mitad del siglo

fue básicamente el método catalán para producir hierro. Las forjas catalanas tenían entre unos y tres hornos, los cuales eran alimentados con carbón vegetal. Se contaba además con una o dos trampas de aire y algunos martillos de gran peso movidos por ruedas hidráulicas. Uno de los grandes problemas que se tenían que vencer era el poco poder calorífico del carbón vegetal ya que en las forjas no se alcanzaba a fundir el hierro por la insuficiente temperatura. La producción de una forja catalana, dependiendo del número de hornos que se utilizara y de la calidad de los suministros de materias primas, fluctuaba entre 700 y 3,300 quintales de hierro de año".

La Ferrería de Piedras Azules, situada en el Estado de Durango, fue la primera que se instaló en México después de consumarse la Independencia. Perteneció a la Compañía Unida de Minas Mexicanas y estuvo apoyada por Lucas Alamán, quien en su calidad de Secretario de Estado y del Despacho de Relaciones Interiores y Exteriores, el 17 de enero de 1831, informaba a la Cámara de Diputados que, "este establecimiento es de tanta mayor importancia, cuanto a que a más de fijar en la República mucha parte de los capitales, que ahora se exportan por el valor del hierro que viene del extranjero, proporcionará a un costo comparativamente menor las máquinas de vapor y otras muchas de gran utilidad para la industria".

La Ferrería de Piedras Azules, también fue conocida como Ferrería de Durango. Se construyó en 1826 en un lugar cercano al Cerro de Mercado, en el Estado de Durango. Entre sus fundadores figura Santiago Baca Ortiz, quien ese tiempo se desempeñaba como gobernador de Durango y fue quien invitó a los inversionistas ingleses a participar en los trabajos de la naciente negociación siderúrgica. "El Sr. Baca Ortiz estimaba en su justo valor la importancia del Mercado y siendo gobernador del Estado de Durango en 1828, se dirigió al comisionado de la Compañía Inglesa de Minas invitándolo a la empresa y ofreciéndole todo su influjo y cooperación, que efectivamente le prestó allanándole cuantas dificultades se ofrecían".

Más adelante, Fernando Ramírez agrega que cuando la compañía inglesa llegó al Cerro del Mercado, encontró que además de la negociación de Piedras Azules, funcionaban en los alrededores pequeñas fundiciones en las que los agricultores elaboraban sus propias herramientas y procedió a levantar grandes instalaciones, que por el momento no dieron los resultados esperados, ya que "los directores -de la compañía- quisieron explotar el hierro en

alto horno, y construyeron uno inmenso de sillería revestido interiormente de ladrillo, en el cual tiraron cerca de siete mil pesos, pues para nada sirvió.

Los experimentos se variaban y multiplicaban, sin lograrse sacar una libra siquiera de hierro útil, de lo cual resultó que dos directores dijieran muy formalmente que el fuego de Durango no era tan activo como el de Europa, y que por consiguiente toda esperanza era perdida... variose el sistema de fundición y resultó aparentemente que el fuego de Durango era más activo que el de Europa, pues el metal y el horno se fundieron hasta liquidarse; entonces se infirió que la tierra de Durango no era tan resistente como la de Europa y en eso sí tenían razón. El hecho es que en experimentos inútiles se gastaron doscientos cincuenta mil pesos, que la Compañía abandonó totalmente la empresa, tal vez desacreditándola, y que todo lo edificado se vendió por lo que escasamente podía valer el terreno. Hablando yo sobre esto con un individuo que se encontraba al alcance de los sucesos, me dijo, que entre los numerosos empleados de la compañía había toda clase de profesiones, pintores, matemáticos, capitanes de marina; pero ni uno sólo que entendiera prácticamente el beneficio del hierro. Era, pues, necesario que la consecuencia correspondiera a las premisas".

En 1834, la Ferrería de Piedras Azules fue adquirida por el empresario francés Emmanuel Bras de Fer y varios socios. El nuevo propietario encontró las instalaciones con un alto grado de deterioro y por un tiempo se limitó a reconstruirlas y a producir una corta cantidad de hierro. Más adelante, centró su atención en trabajos de restauración más amplios, reformó las oficinas en su totalidad, reconstruyendo las forjas catalanas, una máquina de soplo de tinajas, movida por una rueda hidráulica grande, dos martinets y un mortero, movidos igualmente por ruedas hidráulicas; cilindros, fraguas, tornos y demás aparatos necesarios. Esas mejoras tuvieron un costo total de 50,000 pesos. El resultado fue, que se produjeron semanariamente de 50 a 80 quintales de hierro, con un consumo de 2,000 arrobas de carbón y un costo total de 500 a 800 pesos.

Desde un principio, los empresarios franceses entendieron que el fracaso de la Compañía inglesa había tenido su origen en problemas derivados de la adaptación tecnológica y sobre todo en la falta de personal calificado. Uno de los primeros pasos que dieron, además de rehacer las instalaciones, fue buscar en Europa técnicos capacitados en el manejo de sistemas de fundición. De esa forma, procedieron a contratar, "buenos maestros de Tarascón, en el Departamento de

Ariege, y pronto logaron plantar aquí su método y enseñar a los hijos del país a fundir y estirar. El metal magnético a pesar de su extremada riqueza, que podría haber sido nociva, pues tiene una ley de 75 por 100 de hierro, probó bien para el nuevo beneficio, y produce ahora un hierro, que con la misma flexibilidad del hierro de Vizcaya, combina mayor fortaleza o resistencia... por cuyo motivo es más adecuado al uso de la agricultura y la minería".

Sin embargo, el hierro producido en la Ferrería Piedras Azules se enfrentó a los problemas que implicaba el traslado de la producción a diversas ciudades del país, debido al mal estado de los caminos y al complicado sistema de pago de alcabalas. Por gestiones realizadas por el empresario y con el apoyo del ministro Lucas Alamán, se logró que el 26 de octubre de 1842 el gobierno eximiera el pago de impuestos el hierro producido tanto en Durango como en otras ferrerías de país, al igual que las herramientas y máquinas que se hicieran en esas instalaciones. Pero ese año ocurrió la muerte del empresario y la ferrería fue traspasada a nuevos dueños que la conservaron poco tiempo en producción.

Sobre los avances tecnológicos de la Ferrería de Piedras Azules, en uno de sus informes Lucas Alamán expresó que: "Siendo el hierro que se ha obtenido en las primeras pruebas de una calidad tal, que examinado en Inglaterra se ha encontrado por repetidos experimentos superior al inglés. Este establecimiento es de tanta mayor importancia, cuanto a que a más de fijar en la República mucha parte de los capitales que ahora se exportan por valor del hierro que vive en el extranjero, proporcionará a un costo comparativamente menor las máquinas de vapor y otras muchas de gran utilidad para la industria".

De todas las ferrerías instaladas en las primeras décadas del México independiente, la de Piedras Azules en Durango fue la que más atención ocupó en los informes presentados por Lucas Alamán al gobierno y es el reflejo de su interés particular en la negociación. En la Memoria relativa al estado de la agricultura y la industria, de 1843, Alamán escribió lo siguiente, acerca de los éxitos y fracasos de esta empresa: "La Compañía Unida de Minas, bajo mi dirección, estableció la fundación de Piedras Azules en Durango, en el año de 1826. La poca práctica de los peritos alemanes mandados de Inglaterra al establecimiento, y la falta de piedra refractaria para los hornos, hicieron que el resultado no fuese feliz y algunos años adelante hubo de abandonarse el establecimiento, por los directores que me sucedieron en el manejo de dicha Compañía. Después ha pasado a manos del Sr. Lehmann, que aprovechando todo lo edificado

por la Compañía, ha puesto en corriente la fábrica, aunque no para fundir en horno alto, sino en horno a la catalana y obtiene un producto de tres a cuatro mil quintales al año entre platina, barras mineras, chapas, almadanetas y demás útiles para la minería, pudiendo doblar esta cantidad sin hacer ninguno en las máquinas establecidas, si tuviese pedidos suficientes, lo que impide la introducción de hierro extranjero, aunque es de esperar se haya hecho menos perjudicial la concurrencia de este por disposiciones del nuevo arancel de las aduanas marítimas. El hierro es de buena calidad y se usa con aprecio en Durango y sus inmediaciones, y la cantidad que puede extraerse del cerro de Mercado, que es de donde se saca, puede decirse es inagotable. La raya semanal de este establecimiento asciende a 600 pesos y emplea 150 operarios".

La Ferrería de Piedras Azules se mantuvo en manos de sus nuevos dueños, los empresarios Gallegos y Peimbert por un periodo de 5 años. En 1847 la traspasarían al gobernador de Durango Juan M. Flores. El nuevo propietario promovió una notable mejora tecnológica en las instalaciones de la ferrería, al sustituir el sistema de fundición de forjas catalanas por hornos como los que en ese momento se empleaban en las ferrerías de Vizcaya. No obstante esa innovación tecnológica, ésta no se reflejó en el incremento de la producción, ya que los rendimientos anuales siguieron girando en torno a las 160 toneladas anuales. Sin embargo, los productos y herramientas generadas en la ferrería se hicieron más diversos al empezar a producir azadones, ruedas para coches y carretas y rejas de hierro para arados, además de piezas para maquinaria y objetos de hierro batido.

Las mejoras tecnológicas introducidas por Juan N. Flores en las instalaciones de la ferrería de Piedras Azules tuvieron un costo superior a 50,000 pesos y permitieron en los años siguientes, producir hierro de mejor calidad, como lo atestigua el citado estudio de Federico Weidner, quien al hacer un balance de los resultados obtenidos en la primera década del manejo de la ferrería por Juan N. Flores, escribió: "se han producido cosa de 25,000 quintales de hierro batido o forjado, los que fueron vendidos en parte, como platinas, a razón de 12 pesos el quintal, en parte como herramientas u objetos de agricultura y minería, a razón de 20 pesos el quintal; un precio o por ciento muy alto, aunque no se puede negar que muchos agricultores y mineros lo apreciaban bastante; porque la flexibilidad del hierro de Vizcaya, decía, combina mayor fortaleza... A la fecha en que escribo esto, -1857- habiéndose concluido ya la primera campaña de fundición en el horno alto, que por espacio de sesenta y cinco días ha producido en

cada veinticuatro horas de 50 a 120 quintales de hierro, se tiene ya acopio considerable de hierro colado, que dentro de breve tiempo, por medio de los hornos de cúpula y de afinación, que se están construyendo, se convertirá en hierro maleable. Sabido es que este hierro colado o vaciado, como lo produce el horno, por causa de unas tres o cuatro partes porcentuales de carbónico que contiene, es quebradizo y por consiguiente de un uso limitado, pero destruyendo esta mistura de carbón, en parte o en su totalidad, por uno de los procedimientos de afinación, se obtiene el acero y todas las clases de hierro, con las calidades que requiere el destino de cada una de ellas".

Para entonces, la producción del hierro de la negociación siderúrgica de Durango, se empleaba básicamente en la elaboración de barras y picos para los trabajos de extracción minera; ruedas y ejes para carretas; chapas y almádenas para morteros; hierro en planchuela para hacer azadones y rejas para arados y piezas grandes para maquinaria en hierro forjado. Por otro lado, en un informe se asienta que: "la maquinaria consiste en una rueda grande de agua, de 22 pies de diámetro; esta mueve alternativamente el soplo, formado por cuatro cilindros o tinas de madera de 8 pies y los dos cilindros de hierro colado destinados a construcción de barras mineras; hay otras ruedas menores que mueven dos martinets o martillos grandes, del eso de 30 a 36 arrobas y la fundición se hace en hornos a la catalana, que trabajan día y noche. Hay además, hornos reverberos, torno, mortero, para quebrar metal y varias fraguas. Las memorias semanarias son de 500 a 800 pesos, que se reparten entre 130 a 150 personas, operarios carboneros. El consumo de carbón es de 1500 hasta 2000 arrobas por semana, y el capital invertido por los actuales dueños, asciende a 50,000 pesos, sin computar el valor de la existencia de hierro, que es muy considerable".

Acerca de los buenos resultados que ya se obtenían al iniciarse la segunda mitad del siglo XIX en la Ferrería Piedras Azules, mediante los procesos de afinación en la refundición del hierro, Federico Weidner, concluía: "entre varias piezas gruesas de maquinaria, que se han vaciado en este primer lance, debo mencionar un par de cilindros que, después de torneados y pulidos en un torno de colosales medidas y elegante construcción que Mr. Iron ha traído de Estados Unidos del Norte, servirán en el mismo establecimiento para estirar y laminar hierro"

Por las mejoras empleadas en el sistema de fundición de los altos hornos, en la Ferrería de Piedras Azules, pronto se logró reducir en un 50% la cantidad de carbón empleado en cada

horneada y así comenzaron a bajar los costos de producción que hicieron más competitivo y costeable el mercado nacional al hierro elaborado en Durango. Ya en el último tercio del siglo XIX, la Ferrería de Piedras Azules y los yacimientos del Cerro del Mercado pasaron a manos de la empresa norteamericana The Iron Mountain Company, que instaló en el lugar un nuevo alto horno con el objeto de incrementar el volumen de producción de hierro, pero dejó de operar en la última década del siglo por incosteabilidad.

Las otras ferrerías

Otra de las primeras ferrerías que funcionaron en la primera mitad del siglo XIX fueron las de Los Pozos y Tuxpan, ambas ubicadas en el Estado de Michoacán, que tuvieron una vida corta. La Ferrería Los Pozos, fue establecida en 1825 por el español Antonio Cuesta. Después otro español, José Anaya fundó una pequeña ferrería en unos yacimientos ferrosos ubicados en las cercanías de Tuxpan, que funcionó hasta 1829, cuando su dueño apareció en la lista de los españoles expulsados y las instalaciones quedaron abandonadas. Poco después, en 1831, en Janatepec, pueblo ubicado en el actual Estado de Morelos, se fundó una nueva ferrería, con el objeto de abastecer de herramientas a las ricas haciendas cañeras del Valle de Cuautla.

En un principio, la Ferrería de Janatepec perteneció a la Compañía Zacualpa de Amilpas, formada poco antes por Tomás Ramón del Moral, quien con el auxilio y las influencias de Ramón Rayón, obtuvo algunos créditos concedidos por el Banco de Avío, que tuvieron como objeto producir hierro por el sistema de alto horno. Este fue el primer intento de usar esa tecnología en México, pero no tuvo resultados satisfactorios, por lo que sus dueños volvieron al uso de las tradicionales forjas catalanas y su producción se dedicaba básicamente a la elaboración de herramientas y piezas de molinos de algunos ingenios azucareros. Para 1846, Lucas Alamán informaba que "La Ferrería de Janatepec, la primera que se estableció en la República después de la independencia con fomento del Banco de Avío, sigue paralizada".

En la década de los años cuarenta del siglo XIX, funcionaron dos ferrerías en el Estado de Jalisco. Una se ubica en la jurisdicción de Sayula y la otra en la Sierra de Tapalpa. El hierro beneficiado en ambas, apenas satisfacía las necesidades de la región en el abastecimiento de herramientas agrícolas y otros objetos. Al parecer, estas dos ferrerías eran muy rudimentarias y se reducían en sus primeros años a un conjunto de fraguas manejadas con fuelles de mano. Por otro lado, por datos extraídos de varios informes elaborados por Lucas Alamán, se sabe

que en 1846 se trabajaba en un proyecto para establecer una ferrería en Miraflores, en la jurisdicción de Chalco, en donde se proyectaba instalar un alto horno del que se esperaban buenos resultados. Sin embargo, no hay datos que permitan afirmar si se concretó o no ese proyecto.

En los informes de Alamán se habla de otra ferrería con el nombre de Guadalupe, que estaba situada en un lugar cercano al pueblo de Zacualpan, de la que el ministro comentaba sobre su funcionamiento y productividad: "En la Ferrería de Guadalupe, cerca de Zacualpan, de la propiedad del Sr. Hahú, se sacan diariamente cincuenta quintales, con una raya semanal de quinientos pesos. -y- En la de Santa María, a dos leguas de Atotonilco el Grande, y treinta y dos de esta capital, perteneciente al Sr. Mairé, hay establecidos dos hornos a la catalana, que pueden producir de 2,500 a 3,000 quintales al año, pero actualmente se funde la mitad, porque por falta de operarios no está en actividad más que uno de los dos hornos. El metal se lleva del lugar de San Bernabé, Distrito de Zacualtipán, distante diez leguas de la ferrería y cuesta a once reales la carga. Todos los empleados de esta fábrica son mejicanos, a excepción de un solo francés para estirar, a cuyo oficio no se ha querido dedicar ni uno sólo del país, porque ofrece algún peligro en un principio. La raya semanal asciende a 250 o 300 pesos, y el hierro que produce se vende con estimación en esta capital a 12 pesos el quintal, prefiriéndolo al que viene de Europa para todas aquellas obras en que se necesita tenga mucha flexibilidad, como llantas de coches y otras piezas de carrocería".

Por otro lado, Alamán menciona que en el Departamento de Oaxaca funcionaba la Ferrería de Jesús María, que era propiedad del coronel D. Agustín López, misma que para 1845 seguía trabajando con regularidad. Esta ferrería en poco tiempo se había provisto de operarios y de una piedra abigarrada de azul y blanco, que resistía bien al fuego, que era empleada para el revestimiento interior del horno. En su informe, Alamán también menciona otra ferrería que era propiedad de Faustino Zamudio y se ubicaba en Tlaxcala, que se utilizaba básicamente para fundir municiones para la artillería. Eso, de alguna manera la colocaba entre las instalaciones siderúrgicas que gozaban de la protección del gobierno, ya que abastecía de material bélico al ejército mexicano.

A las instalaciones antes mencionadas, se redujo en buena medida la producción de hierro que se utilizó básicamente para la elaboración de herramientas y partes de máquinas usadas en

diversas actividades productivas. En 1846, Lucas Alamán, al hacer un balance del estado de la industria del hierro en México concluía que a pesar de los avances, todavía quedaba mucho por hacer ya que, "este ramo, aunque ha adelantado, no está todavía en el punto que debe llegar, y que es menester para proveer a las artes a cómodo precio de todo el hierro que necesitan, y son necesarias para dar seguridad a los empresarios algunas medidas, sobre que esta Dirección ha informado al supremo gobierno".

En otra ocasión, Alamán expresó las siguientes reflexiones sobre lo que significaban las ferrerías para el futuro del país: "el hierro [es] uno de los metales más abundantes en la naturaleza, es también aquel que las empresas formadas para su explotación hayan encontrado más graves tropiezos que las que han tenido por objeto otros ramos... todas estas ferrerías producen ya gran cantidad de hierro, pero ni es todo lo que se necesita para el consumo de la república, ni a un precio tan bajo como es menester para que se aumente su uso, como sucederá sin duda en breve. Para esto es necesario que se establezca la fundición por hornos altos, pues sin ellos ni se puede tener hierro líquido para las piezas de las máquinas y otros mil usos. No podrán salir a un precio cómodo.

Los muchos gastos y tentativas útiles en este ramo se han hecho, deben hacer conocer a los emprendedores que es de absoluta necesidad hacer uso de hombres instruidos que posean conocimientos teóricos y prácticos, para que sabiendo bien lo que se hace en otras partes, por su instrucción científica, sean capaces de introducir en aquellas prácticas las variaciones que exigen las circunstancias peculiares a cada país... es también menester buscar con empeño la piedra refractaria, por cuya falta se han desgraciado casi todas las empresas de este género porque la que han usado en las construcciones de los hornos no han podido resistir al calor y se han fundido, causando la pérdida de los hornos, cuya construcción es muy costosa y esta piedra sólo podrá hallarse en los terrenos de arenisca a cuya formación pertenece. el gran consumo de combustible que hacen las ferrerías exige absolutamente el cuidado de los montes, pues sin esto pronto se quedarán sin carbón que necesitan. Este punto debe llamar urgentemente la atención del gobierno supremo, así como también las modificaciones que es indispensable hacer en la ordenanza de minería con respecto a las ferrerías, pues por el gran consumo que hacen de combustible y también de mineral que emplean en la fundición, por la estabilidad que necesitan establecimientos tan costosos, no puede aplicarse respecto a ellos el principio que domina en

dicha Ordenanza, que consiste en dividir una veta en muchas proporciones pequeñas para que sea usufructuada pronto y por gran número de individuos".

Como lo han señalado Daniel Toledo y Francisco Zapata, en el periodo que va de 1850 a 1880, se pueden distinguir de acuerdo a las características de las instalaciones y sus métodos tecnológicos de producción, tres tipos de negociaciones destinadas a producir hierro: "las pequeñas ferrerías, diseminadas en diferentes regiones del país; las grandes ferrerías, dotadas de equipos más modernos y ubicadas en lugares estratégicos, y las llamadas fundiciones de segunda fusión, localizadas en los centros urbanos importantes".

Por otro lado, podemos observar que el éxito de algunas de esas empresas fue resultado del mejoramiento tecnológico y de mayores inversiones de capital, sobre todo en aquellas que se establecieron en los primeros años; otras, se fincaron en la restauración de instalaciones de antiguas ferrerías abandonadas. Un tercer grupo lo integran aquellas que fueron proyectadas como empresas modernas. Algunas de ellas estuvieron sustentadas en inversiones de compañías extranjeras, especialmente norteamericanas e inglesas. Dentro del primer grupo, destacaban las ferrerías de Santa Ana, Tepozotlán, Matacrastos y San José Guichicovi, que estaban ubicadas en los estados de Jalisco, Guanajuato, Morelos, Hidalgo y Oaxaca.

La Ferrería de Santa Ana, fundada en 1852, producía hierro por el método de forjas catalanas y contaba con dos altos hornos. Estos fueron los primeros que funcionaron en México con relativo éxito y abrieron el camino para la renovación tecnológica. La Ferrería de Santa Ana de Oaxaca registraba una producción de unos 1300 quintales al año y empleaba a 10 trabajadores. Por lo que respecta a la Ferrería de Tepozotlán, ubicada en el Estado de Morelos, también contaba en sus instalaciones con un alto horno provisto de fuelles de aire caliente y empleaba fuerza hidráulica. A diferencia de otras ferrerías, la de Tepozotlán, empleaba minerales ferrosos que procedían de yacimientos ubicados a poca distancia. Esa situación la ubicaba en mejores condiciones para producir hierro a más bajo costo en relación a otras. Sin embargo, pronto enfrentó problemas de financiamiento y para 1857, ya se encontraba abandonada.

La Ferrería de Matacrastos fue fundada en 1852 y era propiedad del señor Manuel Aizpuru. Se ubicaba en un lugar cercano a Zapotlán, en el sur de Jalisco. Esta ferrería clasificada en el grupo de las pequeñas, fue de las pocas que laboraron con éxito en un tiempo mayor. A partir de 1857 la Ferrería de Matacrastos ya producía hierro en barras y una gran diversidad de productos

terminados, entre herramientas agrícolas y piezas para las máquinas que se empleaban en algunos ingenios azucareros. Se sabe que todavía funcionaba a fines del siglo XIX y que poco después fue abandonada.

Por lo que respecta a la Ferrería de San José Guichicovi, se sabe que estaba situada a poca distancia del pueblo de Ixhuatlán, en el Estado de Oaxaca. Para 1866, esta negociación era propiedad de Antonio Magro. Se mantuvo en producción sólo unos años, debido a los movimientos armados que fueron comunes en ese tiempo en la región. Por datos que aportan algunos estudios recientes, se sabe que en las primeras décadas de la segunda mitad del siglo XIX funcionaron durante algunos años las ferrerías de la Hacienda de Saucedá, fundada en 1860 en el Estado de Guanajuato y la Ferrería de Los Reyes, en el Estado de Hidalgo. En esos años también funcionaron algunas fundiciones como la de Tulancingo, construida en 1861, que se dedicaron al beneficio tanto de materiales ferrosos recién obtenidos como a los que procedían de la chatarra.

Por lo que se refiere al grupo de las ferrerías mayores que funcionaron en la segunda mitad del siglo XIX sabemos que no solamente fueron exitosas por el tamaño de sus instalaciones, sino por los métodos tecnológicos empleados en los procesos productivos y en la organización del trabajo. También tuvieron éxito debido a su ubicación estratégica en relación a los grandes centros urbanos y su conexión con las vías de comunicación y los nuevos medios de transporte. Un ejemplo de este tipo de empresas de la industria del hierro es la Ferrería de San Rafael, establecida en Tlalmanalco, en el Estado de Puebla en 1857 perteneció a los empresarios Rothschild, que financiaban sus negocios con capitales procedentes de Francia e Inglaterra. Contaba en sus instalaciones con un alto horno bien equipado, con fuelles de aire caliente generado por máquinas accionadas por fuerza hidráulica. Poseía "un departamento de fundición que constaba de dos hornos Wikinson, algunas grúas y una estufa; dos hornillos de afinaduría Comtoise, un tren de laminados para piezas pequeñas que se surtía con hierros de tamaño inferior al extranjero, y finalmente un taller de construcción con todas las herramientas necesarias y que ocupaba el agua como fuerza motriz... el laminadero de San Rafael, además de alimentarse con el hierro propio de sus hornos, utilizaba astillas y rajas de hierro que le suministraban las ferrerías de Juan Itahú, lo que nos da una idea de las relaciones entre los representantes de la siderurgia mexicana de la época".

Por otro lado, se sabe que la Ferrería de San Rafael producía alrededor de 3,000 quintales de hierro al año y daba ocupación a unas 125 personas. En esta empresa, además de herramientas, se elaboraban distintas clases de máquinas y refacciones para las mismas. Este es uno de los mejores ejemplos de empresas exitosas dedicadas a la industria del hierro. Otra ferrería de importancia semejante fue la de Tula, fundada en 1859 en la Sierra de Tapalpa, en el Estado de Jalisco. La Ferrería de Tula, a decir del ingeniero Trinidad Paredes, "creció bastante y en algunas épocas debe haber sido de las más importantes del país; tiene un alto horno como de 9 metros de altura, de capacidad de 12 y 15 toneladas diarias; tiene [además] un taller regular, sus cúpulas, sus hornos de pudelar ya destruidos y otros muchos útiles; se podían vaciar piezas hasta de un metro y medio de largo y otro tanto de ancho".

La Ferrería de Tula fue adquirida en 1879 por el señor Manuel Corcuera, quien se dio a la tarea de rehabilitar y modernizar las instalaciones. Introdujo maquinaria comprada en Alemania. Con estas mejoras, el nuevo propietario logró producir hierro estirado, así como soleras y engranes de diversos tamaños. Así, con el paso de los años la Ferrería de Tula llegó a ser una negociación próspera. Para 1883, en su taller se producía hierro platina, ruedas de hierro acerado para medios de transporte, ejes torneados y con ranuras, hierro cilindrado, piezas de hierro cuadrado y redondo de diverso espesor, soleras, fajillas, hierro para herrajes y flechas de varias dimensiones. Además, en esta ferrería se elaboraba hierro para fondos de calderas, molinos para trapiches, herramientas agrícolas y toda clase de piezas para maquinaria. Al mismo grupo pertenecen la Ferrería de La Encarnación, instalada en 1857 en el Estado de Hidalgo; la Ferrería de San Antonio, en el mismo estado, la Ferrería de Apulco, construida en 1875 a 75 kilómetros, al sur de la Ferrería de San Miguel, en el Estado de Hidalgo y finalmente, la Ferrería de El Salto, situada en un extremo del Valle de Bravo, en el Estado de México.



Figura 3.4. Parte de las ruinas de la Ex Hacienda de Ferrería, que se ubica justa en el centro de Ferrería de Tula. E.FLORES

Otra de las ferrerías establecidas en la segunda mitad del siglo XIX, fue la de Comanja. Establecida en la municipalidad de Lagos de Moreno, en el Estado de Jalisco. Su ubicación en una zona de larga tradición minera y cercana a los ejes de la red de comunicación ferroviaria, le permitió distribuir con relativa facilidad sus productos en el centro y norte del país. En la Ferrería de Comanja además de herramientas agrícolas y para la extracción minera, se elaboraban diversos objetos de herrería ornamental que lucían en forma de bancas en las plazas, rejas y barandales en poblaciones de Jalisco y Guanajuato. En las instalaciones de esta ferrería también se fundían campanas para las iglesias y refacciones para la maquinaria de algunas haciendas.

A pesar de su importancia, para los primeros años del siglo XX, la Ferrería de Comanja ya lucía abandonada a consecuencia de la crisis económica y a los efectos producidos por el estallido del movimiento revolucionario de 1910. Así lo constató el ingeniero Trinidad Paredes en su informe

publicado en 1925, en el que dice que: "La antigua fundición de hierro de Comanja se encuentra paralizada hace más de 15 años; tenía un alto horno de seis toneladas de capacidad diaria, y un taller con algunos útiles, hoy no quedan más que ruinas enteramente inservibles; hace como un año que fueron por los últimos restos de hierro transportable, quitando hasta los cinchos del horno".

Esta ferrería de Comanja se aprovisionaba de una minas situadas en la Hacienda de Santiago, unos diez kilómetros al oriente de Comanja, en la jurisdicción de Jalisco; después la explotación siguió hasta el oriente en El Saucó y en Barbosa, ya en la jurisdicción de Guanajuato hasta el sitio El Rincón Grande y hacia el poniente, en Jalisco por varios kilómetros.

Además de las ferrerías antes mencionadas, funcionaron en diversas partes del centro del país algunas fundiciones de segunda fusión, es decir, de beneficio de metales ya fundidos, que se utilizaban para dar forma a diversos objetos. Entre otras, fueron notables las instalaciones industriales de Santa Fe, la de Panzacola y la de la Hacienda del Olivar, ubicadas en los estados de México y Tlaxcala, respectivamente. Por otro lado, entre 1880 y 1900, se hicieron más frecuentes las empresas extranjeras interesadas en la industria del hierro en México como la Iron Mountain Company y la Got Bantemps Company, que poco a poco controlaron buena parte del hierro y el acero que se producía en el país. Así, como bien señalan Daniel Toledo y Francisco Zapata, "el desarrollo del sector siderúrgico durante el periodo 1880-1900, fue en términos generales más favorable que en los dos periodos anteriores: la integración del mercado nacional, mediante la contribución de los ferrocarriles y la supresión de las alcabalas, posibilitó algunos adelantos en el sector siderúrgico... también la pacificación del país y la legislación del periodo ayudaron al desarrollo del sector. Los adelantos tecnológicos significativos por la utilización de la electricidad en el proceso productivo, por la tecnificación de la minería y por la utilización de maquinaria moderna importada, ya que se podía comprar en el extranjero porque había divisas generales por las exportaciones de materias primas, dieron como resultado un panorama relativamente más favorable a la industria siderúrgica de la época".

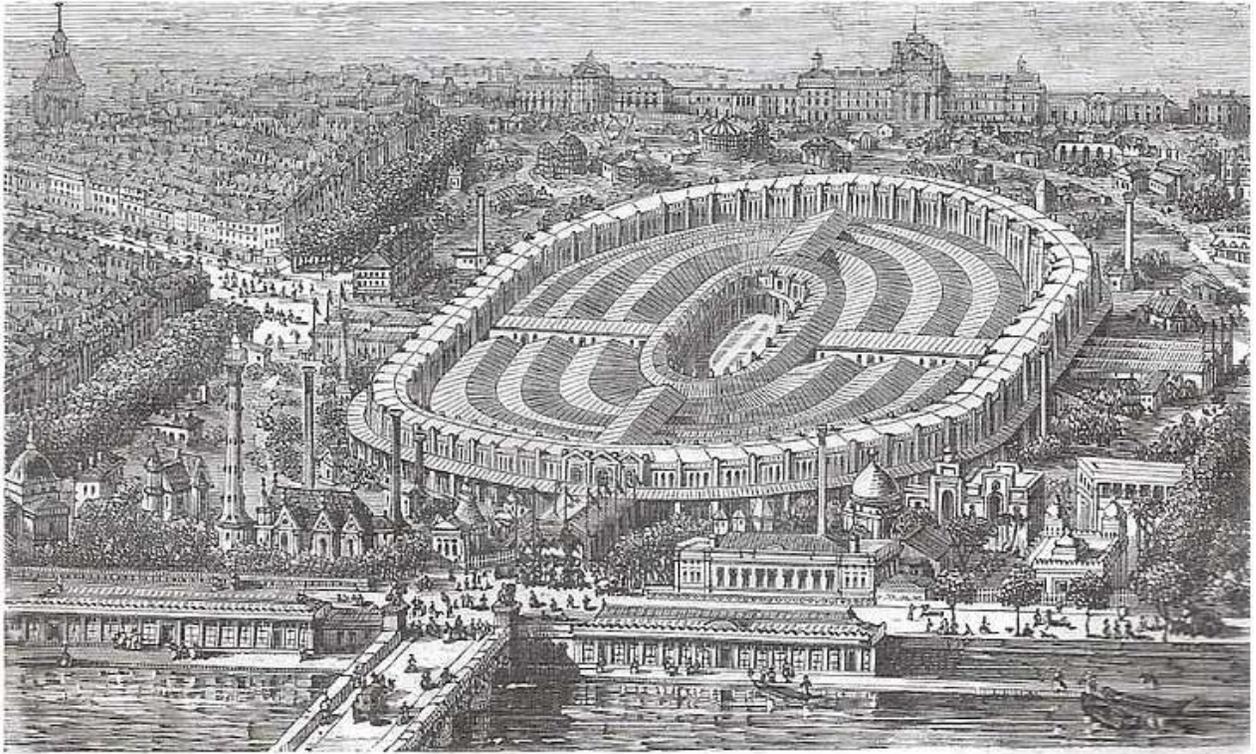
La construcción de la primera red ferroviaria nacional tuvo un impacto notable en el desarrollo de las empresas siderúrgicas. Facilitó la entrada de los productos siderúrgicos a mercados alejados de la empresa productora de hierro. La instalación en México de industrias nuevas que utilizaban hierro y acero aumentó considerablemente la demanda de estos productos. Sin

embargo, la industria siderúrgica nacional no tenía aún capacidad para abastecer las necesidades del mercado interno. A eso fue a lo que se orientaron las grandes empresas con capital y modernidad tecnológica suficiente, como lo fue la fundación de la Compañía Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey en 1900, que marcó el inicio de la industria siderúrgica moderna en México.

4. LA TORRE EIFFEL

(<http://www.arquitecturaenacero.org/historia/equipamiento/la-torre-eiffel>)

A partir de 1851, las Exposiciones Universales se constituyeron en la oportunidad que las naciones eligieron para mostrar al resto del mundo el desarrollo de sus capacidades técnicas, industriales y económicas. La importancia política de estas iniciativas es insoslayable y tiene efectos tanto internos como en el contexto internacional. Muchas de estas iniciativas fueron el escenario elegido para montar novedosas edificaciones en las que el hierro y el cristal hacían sus galas en el arte edilicio. El proyecto de J. Paxton para el Palacio de Cristal de la exposición de 1851 en Londres marca un hito tanto por el uso masivo del hierro y el cristal en su construcción como por las ingeniosas soluciones técnicas dispuestas (entre otras la canalización de las aguas de condensación y de lluvias por el interior de los tubos de la estructura, el piso ventilado y muchas otras) o las rigurosas estrategias de prefabricación (que permitieron el diseño, fabricación y construcción de este edificio de casi 70,000m² en un plazo de un poco más de 6 meses, incluido su diseño altamente racionalizado y repetitivo). Fue tanto el éxito que proyectos similares se replicaron en 1853 en Nueva York, y en 1854 en Múnich y, aunque se intentó, no fue posible lograrlo para la primera exposición universal francesa de 1855 por la incapacidad de la industria de la época de proveer el hierro y el vidrio en los plazos requeridos. En 1867, durante la segunda exposición Universal en París, se construye un edificio oval cuya planta de 490m x 386m está conformada por siete galerías concéntricas que van creciendo a medida que se alejan del centro. La exterior, destinada a la galería de máquinas salva una luz de 35m y tiene una altura de 25m -que doblaba en altura y en luz a las naves interiores- es encargada a los talleres del joven ingeniero Eiffel, que asume la responsabilidad del cálculo y la fabricación.



Palais de l'Exposition universelle de 1867, vu à vol d'oiseau-

Figura 4.1. Palacio de la Exposición Universal de París 1867

<http://image.slidesharecdn.com/revolucionindustrial-111013220111-phpapp01/95/revolucion-industrial-92-728.jpg?cb=1318543521>

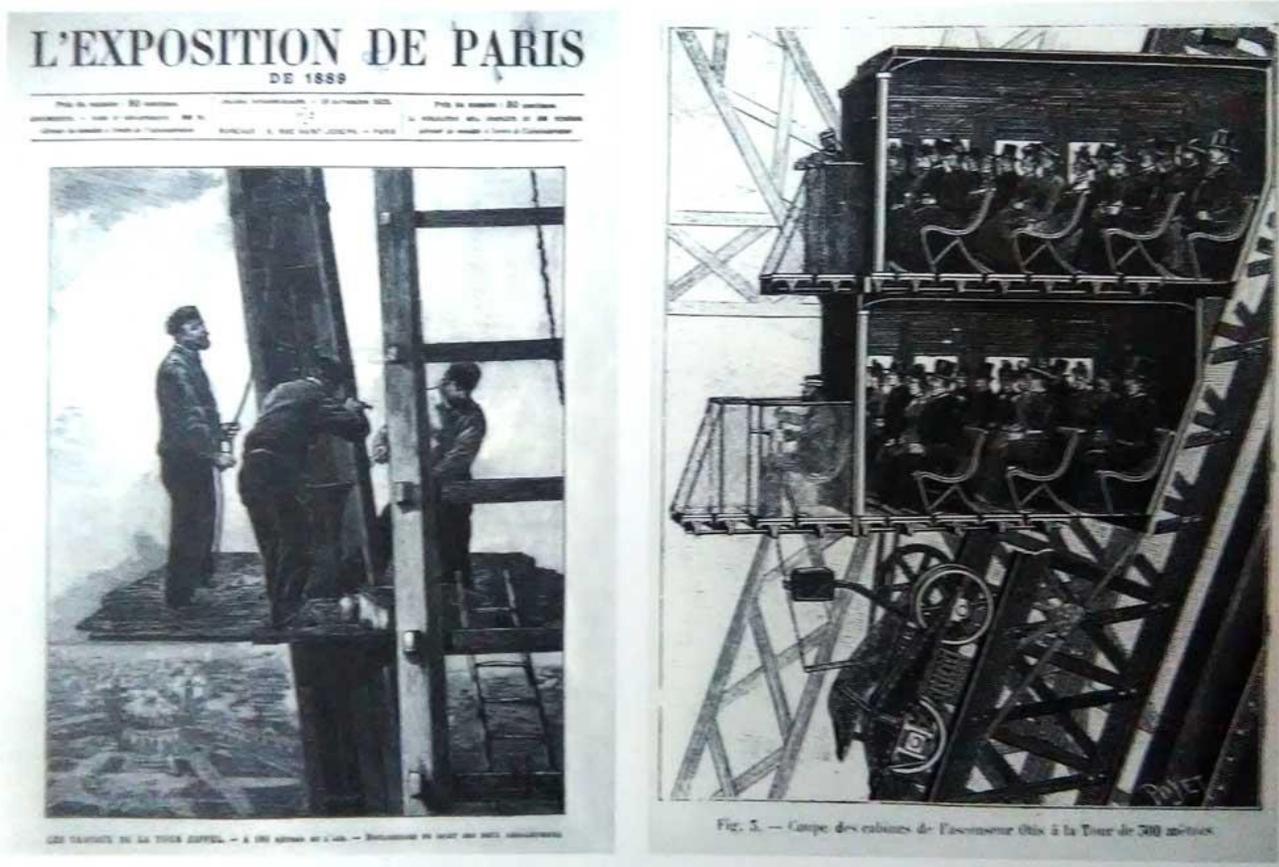


Figura 4.2. Publicidad Exposición de Paris 1889, Fuente: *The Eiffel Tower, Taschen*

En 1873, en Viena y, nuevamente en París en 1879, los edificios de hierro y cristal, parecen competir en monumentalidad y espectacularidad, pese a cierta resistencia del público y la prensa. Pero fue la exposición de 1889, en el centenario de la Toma de la Bastilla, en que la ciudad hace su mayor esfuerzo político, económico y técnico para organizar la más importante de las citas del siglo. La Galería de la Máquinas, de Dutert y Contamin, con su luz de 115m y 420 m de longitud y sus más de 47 m de altura es un testimonio de ese esfuerzo y, aunque menos conocido que la torre de Eiffel, marca un antes y un después en la concepción de las grandes naves, siendo el primer ejemplo construido de marcos tri-articulados. S. Gideon, en su clásico "Espacio, tiempo y arquitectura" le dedica unos párrafos notables a este edificio, destacando que "la bóveda adquiere un carácter flotante o suspendido. Ha desaparecido hasta el último rastro de la columna antigua" y culmina con "se crea así una nueva armonía oscilante... se alcanza un equilibrio entre la presión externa, el viento y la nieve... La construcción se vuelve expresión. La

construcción se vuelve forma.” Desgraciadamente el edificio, que se puede apreciar en todas su magnitud interior en la figura 4.3, fue demolido en 1910.



Figura 4.3. Galerie des Machines – Dutert y Contamin – Exposición de París 1889 –

(<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/b7/39/85/b73985037f40c2779739607efebf60e8.png>)

Pero fue la Torre de Eiffel la que perduró en el tiempo y la que se convirtió, con el tiempo, en el símbolo de la Ciudad. Gustave Eiffel (1832-1923) fue formado en la École Polytechnique y en la École Centrale de París. Ya se mencionó que tuvo una primera aproximación a las construcciones feriales con el cálculo y fabricación de la Galerie des Machines de la exposición de 1867. Pero fue, posiblemente, su experiencia construyendo puentes en África, Indochina y Europa que lo llevó a comprender aspectos de la acción del clima, el viento y los torrentes de agua sobre las grandes estructuras. Y es a partir precisamente de la experiencia en las construcciones de puentes que funda su concepción de la estructura más alta jamás levantada hasta la época. Entre ellos, el puente sobre el Duero en Portugal y el muy audaz viaducto de Garabit, de 500 m de longitud y que salva una luz de 165m con un arco en que se apoyan parte de las torres de sustentación (pilonos) que soportan la viga, como se puede apreciar en la figura 4.4.



Figura 4.4. Viaducto de Garabit – G. Eiffel (1880-1884)

(http://www.freemages.es/album/france/viaduc_garabit.jpg)

Dos ingenieros de la empresa de Eiffel (Nougier y Koechlin) habían llegado a la idea de construir una gran torre para la exposición a partir de la experiencia lograda en los cálculos de las torres de los puentes, pero su propuesta inicial era demasiado técnica. Se encargó el proyecto de arquitectura a Stephen Sauvestre quien hizo una propuesta que resultaba más aceptable para el cometido del edificio. Así se revisten las bases con albañilerías, se habilitan grandes salas acristaladas en los pisos intermedios, se da forma a la cúpula de término de la torre y se disponen los grandes arcos que unen los cuatro montantes. Transformada así en habitable, Eiffel se involucra con más entusiasmo en el proyecto, firmando una patente a nombre suyo y de los ingenieros Nougier y Koechlin. Posteriormente, compra a sus colaboradores su participación. Según Eiffel, el perfil de la Torre está definido para soportar las cargas del viento y que “las curvas de las cuatro costillas... darán una gran impresión de fuerza y de belleza”. La propuesta de la Torre de Eiffel propone una nueva estética basada en la transparencia y la ligereza (nos habrán escuchado mencionar estos conceptos más de una vez) y tuvo que enfrentar una fuerte resistencia del público, de la prensa y de los artistas, que hicieron llegar una carta abierta al comisario de la Exposición, publicada en el Diario Le Temps en febrero de 1887.

- *Nosotros, escritores, pintores, escultores, arquitectos, apasionados aficionados por la belleza de París hasta ahora intacta, venimos a protestar con todas nuestras fuerzas, con toda nuestra indignación, en nombre del gusto francés anónimo, en nombre del arte y de la historia francesa amenazadas, contra la erección en pleno corazón de nuestra capital, de la inútil y monstruosa torre Eiffel, a la que la picaresca pública, a menudo poseedora de sentido común y espíritu de justicia, ya ha bautizado con el nombre de Torre de Babel. Sin caer en la exaltación del chauvinismo, tenemos el derecho de proclamar alzando la voz que París es la ciudad sin rival en el mundo. Por encima de sus calles, de sus amplios bulevares, a lo largo de sus admirables avenidas, en mitad de sus magníficos paseos, surgen los más nobles monumentos que el género humano haya creado. El alma de Francia, creadora de obras maestras, resplandeció entre esta floración augusta de las piedras de Italia, Alemania, Flandes, tan orgullosas, y con razón, de su legado artístico, pero no poseen nada que sea comparable a las nuestras y desde todos los rincones del universo, París ha atraído la curiosidad y la admiración. ¿Vamos a permitir profanar todo eso? ¿La ciudad de París va a relacionar los más antiguos edificios barrocos con las mercantiles imaginaciones de un constructor de máquinas, para afearse irreparablemente y deshonorarse? Pues la torre Eiffel, que incluso la capitalista América no querría, es sin dudar ¡la deshonra de París! Todo el mundo lo sabe, todo el mundo lo dice, todos se afligen profundamente, y nosotros no somos más que un débil eco de la opinión universal y legítimamente alarmada. Cuando los extranjeros vengan a visitar nuestra Exposición, exclamarán asombrados: “¡Cómo! ¿Es este el horror que los franceses han encontrado para darnos una idea de su gusto tan halagado?” Tendrán razón burlándose de nosotros, porque el París de los sublimes góticos, el París de Jean Goujon, de Germain Pilon, de Puget, de Rude, de Barye, etc., se habrá convertido en el París del Sr. Eiffel. Para hacerse una idea de lo que adelantamos, basta además imaginarse una torre vertiginosamente ridícula dominando París, así como una negra y gran chimenea de una fábrica, aplastante con su enorme masa. Notre Dame, La Sainte-Chapelle, la torre Saint Jacques, el Louvre, la cúpula de los Inválidos, el Arco del Triunfo, todos nuestros monumentos humillados, toda nuestra arquitectura venida a menos, desapareciendo entre ese sueño asombroso. Y durante veinte años veremos alargarse sobre toda la ciudad, todavía estremecida por el genio de tantos siglos, como una mancha de tinta, la odiosa sombra de la odiosa columna de hierro forjado. Son ustedes, los que tanto aman París, los que la han embellecido y protegido contra las devastaciones administrativas y el vandalismo de las empresas industriales, a quienes corresponde el honor de defenderla una vez más.*

Nosotros llamamos su atención para pleitear por la causa de París, sabiendo que dispensarán en ello toda su energía, toda la elocuencia que debe inspirar a un artista la belleza del el amor, lo que es grande y lo que es justo... Y si nuestro grito de alarma no es oído, si nuestras razones no son escuchadas, si París se obstina en la idea de deshonorar París, al menos ustedes y nosotros habremos hecho escuchar una protesta que honra.

Por su parte, Eiffel publica, en Le Monde su carta respuesta:

- *¿Cuáles son los motivos que aducen los artistas para protestar contra la erección de la torre? ¡Qué es inútil y monstruosa! Hablaremos de la inutilidad enseguida. Nos ocuparemos de momento del mérito estético sobre el que los artistas son en particular más competentes. Me gustaría saber sobre que fundamentan su juicio. Pues, dense cuenta, señores, que esta torre nadie la ha visto y nadie podrá decir lo que será antes de que esté construida. Solamente se la conoce hasta ahora por un simple dibujo geométrico; pero sea quien sea el que haya publicado cien ejemplares, ¿acaso se aprecia con competencia el efecto general artístico de un monumento basándose en un simple dibujo, cuando ese monumento sea de las dimensiones ya concretas y definitivas? Y cuando la torre haya sido construida y sea mirada como algo bello e interesante, ¿los artistas no lamentarán el haber tomado partido tan rápido y tan a la ligera haciendo esta campaña? Que esperen a haberla visto para hacerse una idea precisa y poder juzgarla. Les diría todo lo que pienso y todas mis esperanzas. Creo, a mi vez, que la torre tendrá su belleza propia. ¿Por qué nosotros somos ingenieros, creen ustedes que la belleza no nos preocupa en nuestras construcciones y que incluso al mismo tiempo que hacemos algo sólido y perdurable no nos esforzamos por hacerlo elegante? ¿Es que las auténticas condiciones de la fuerza no son siempre compatibles con las condiciones secretas de la armonía? El primer principio de la estética arquitectónica es que las líneas esenciales de un monumento estén determinadas por la perfecta adecuación a su destino. Ahora bien, ¿cuál es la condición que yo he tenido en cuenta en lo relativo a la torre? La resistencia al viento. ¡Pues bien! Pretendo que las curvas de de los cuatro pilares de la torre del monumento tales como el cálculo las ha determinado, sean los que partiendo de un enorme e inusitada distancia entre ellos, vayan alzándose hasta la cima. Darán una gran impresión de fuerza y belleza; pues traducirán a las miradas la audacia de la concepción en su conjunto, del mismo modo que las numerosos vacíos presentes en los propios elementos de la construcción acusaran fuertemente la constante preocupación de no entregarse inútilmente a las violencias de las tormentas en las superficies*

peligrosas para la estabilidad del edificio. La torre será el edificio más alto que jamás hayan elevado los hombres. ¿No será pues grandioso también a su manera? Y por qué lo que es admirable en Egipto se convertiría odioso y ridículo en París? Por mucho que lo intento, confieso que no lo entiendo. La protesta dice que la torre va a aplastar con su gran masa a Notre Dame, la Santa Capilla, la torre Saint-Jacques, el Louvre, la cúpula de los Inválidos, el Arco del Triunfo, todos nuestros monumentos. ¡Cuántas cosas a la vez! Realmente me resulta gracioso. Cuando se quiere admirar Notre-Dame, uno va a verla desde el atrio. ¿En qué afecto la torre desde el Campo de Mars la curiosa localización del atrio de Notre-Dame?, ¿quién no la verá? Además esa es una de las ideas más falsas, aunque más extendidas, incluso entre los artistas, consistente en creer que un edificio elevado aplasta las construcciones de su alrededor. Fijense si el edificio de la Ópera no parece más aplastada por las casas del vecindario que no ella quien las aplasta. Vayan al puente de la Estrella, y porque el Arco del triunfo es grande, las casas de la plaza no les parecerán más pequeñas. Al contrario, las casas parecen tener la altura que realmente tienen, es decir más o menos quince metros, y es necesario un esfuerzo de espíritu para persuadirse de que el Arco del Triunfo mide cuarenta y cinco, es decir tres veces más. Queda la cuestión de la utilidad. Aquí, puesto que abandonamos el dominio artístico, me estará permitido oponer la opinión de los artistas a la del público. No creo en absoluto dar muestras de vanidad diciendo que proyecto alguno jamás ha sido tan popular; tengo a diario la prueba de que no hay en París personas, por humildes que sean, que no la conozcan y se interesen por ella. Incluso en el extranjero, cuando debo viajar, estoy asombrado de la repercusión que ha tenido. En cuanto a los sabios, los verdaderos jueces de la cuestión de la utilidad, puedo decir que son unánimes. No solamente la torre promete interesantes observaciones para la astronomía, la meteorología y la física, no solamente permitirá en tiempos de guerra tener a París constantemente comunicado con el resto de Francia, pero al mismo tiempo será la prueba deslumbradora de los progresos realizados en este siglo por el arte de los ingenieros. Es solamente en nuestra época, en estos últimos años, cuando se podían realizar los cálculos con la suficiente seguridad y trabajar el hierro con bastante precisión para soñar en una tan gigantesca empresa. ¿Acaso no supone nada para la gloria de París que este resumen de la ciencia contemporánea sea erigido entre sus muros?

Pese a los pergaminos de muchos de los protestantes (Guy de Maupassant, Charles Gounod, Charles Garnier, Sully Prudhomme, Alexandre Dumas (hijo), Paul Verlaine, entre

otros) y a esta polémica exquisita, el Comisario no se dejó influir ni impresionar: hoy la Torre corona París, es la imagen icónica, el símbolo y el orgullo de la ciudad y seguramente muchos –si no todos- de los que hemos tenido la oportunidad de visitarla, lo celebramos. La torre se levanta en tres tramos hasta alcanzar la altura final de 312.27m iniciales (hoy 324m). Los cuatro pilonos que la conforman cubren dimensiones magníficas: la separación entre pilares en la base es de 74.24m, su ancho en la base es de 25.,33m y la distancia exterior de ellos en la base alcanza los 124,9m. En su recorrido hacia la cúspide, describen una curva que los hace aproximarse en una forma asintótica respondiendo a la descripción y resistencia que Eiffel describe en su carta. La figura 4.5 corresponde a uno de los planos originales de la torre.

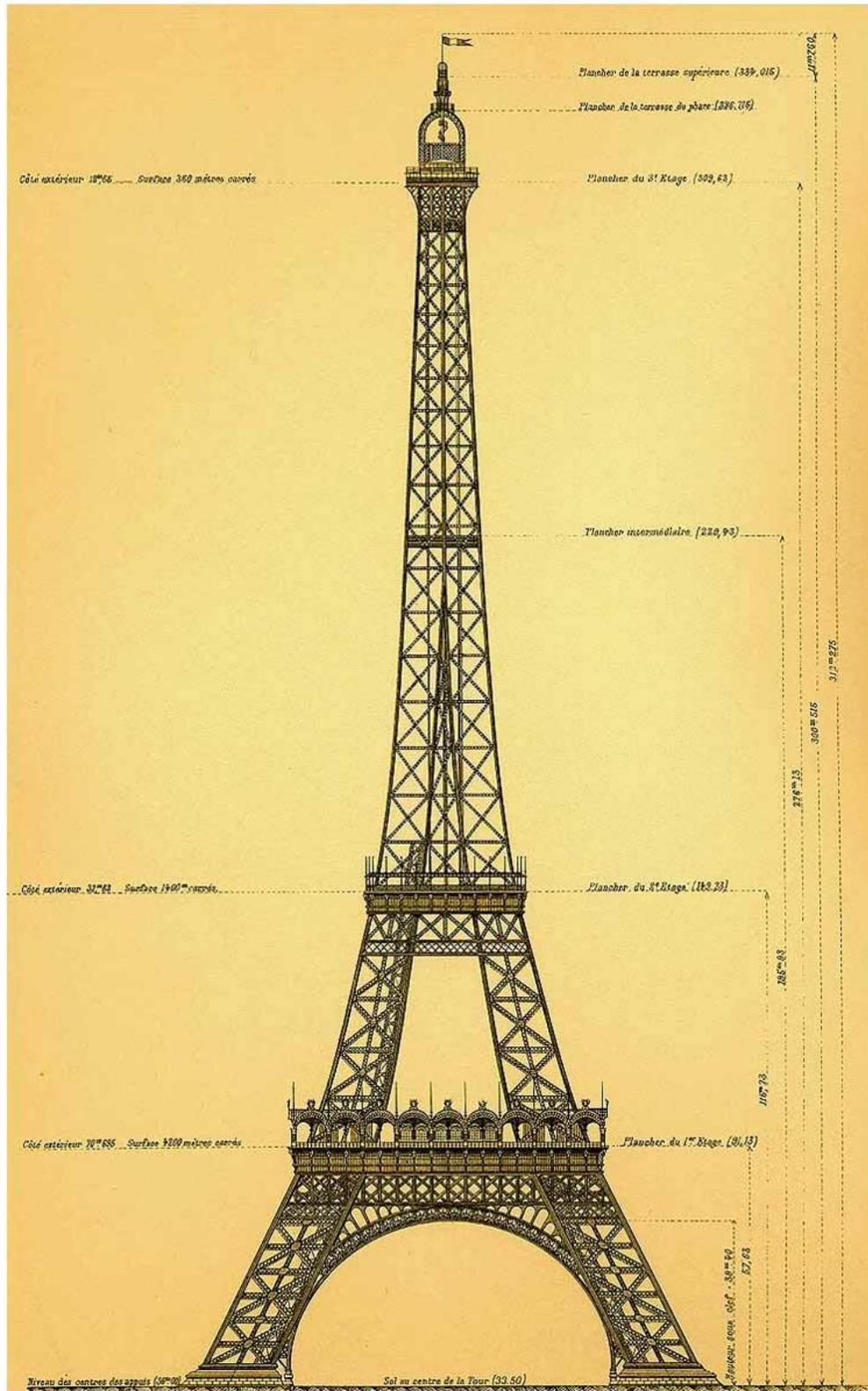
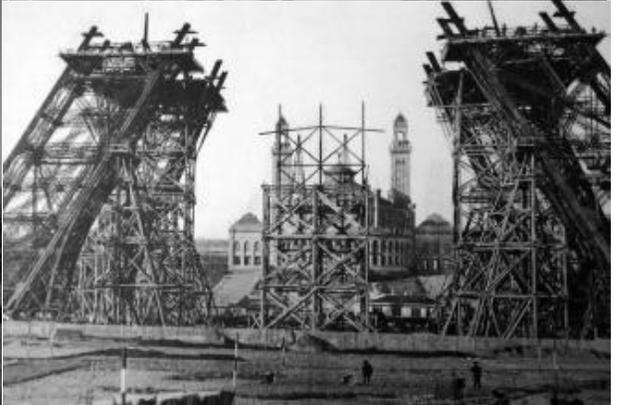
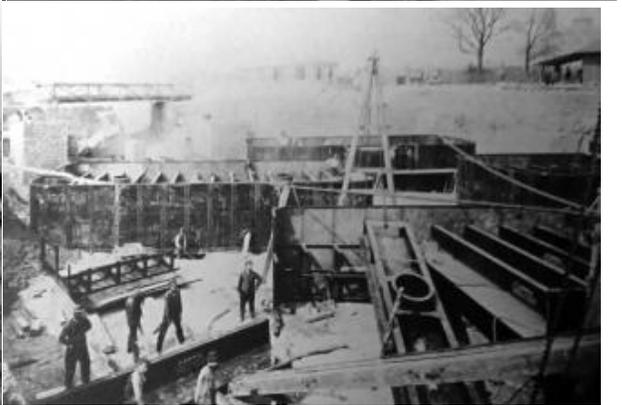


Figura 4.5 - Planos originales de la torre



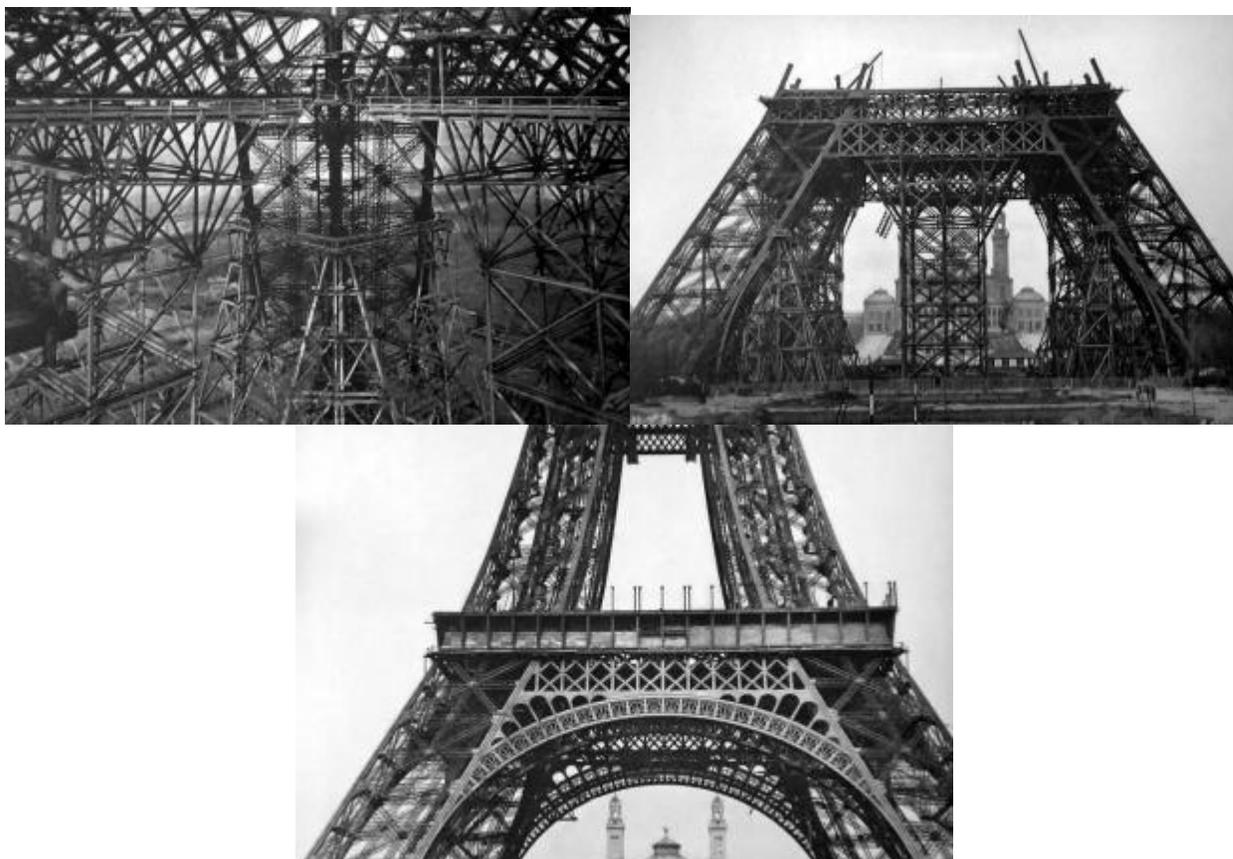
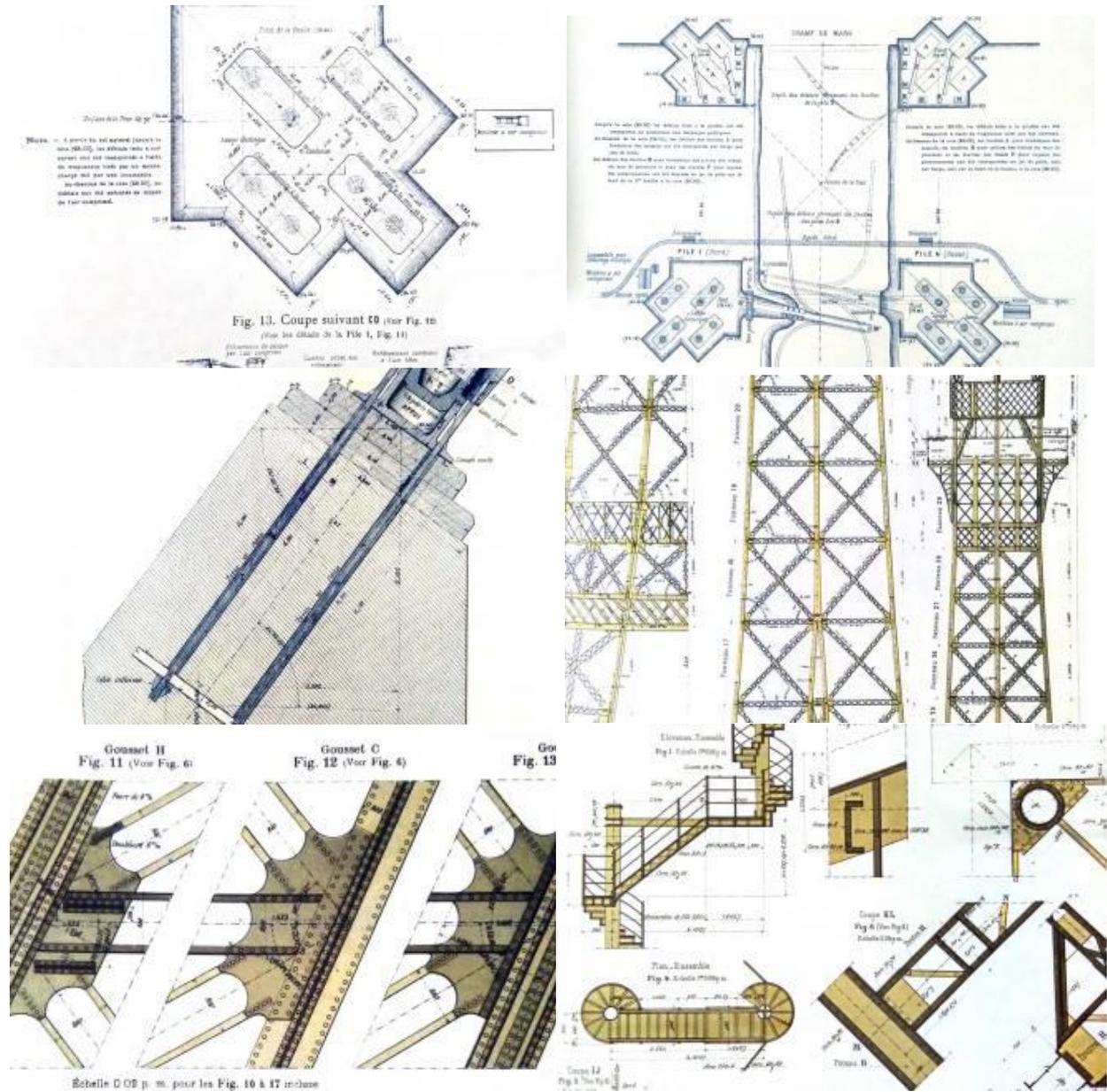


Figura 4.6. Proceso constructivo de la torre. Fuente: *The Eiffel Tower, Taschen*

Finalmente, para esta torre de 300m de altura se dibujaron más de **4,300 planos** (700 de conjunto y 3.600 de detalles), que incluyen las más de 18.000 piezas que conforman el edificio en que se emplearon más de 2.5 millones de roblones. La experticia alcanzada por los talleres de Eiffel en la construcción de puentes le permitió lograr precisiones milimétricas en el calce de las perforaciones para la instalación de los roblones. En el diseño y en las obras trabajaron 386 ingenieros, capataces y obreros. Las obras de fundaciones tomaron 6 meses y la erección de la torre –cuyo peso es de 7,341 toneladas- un total de 21 meses, entre el 26 de enero de 1887 y el 31 de marzo de 1889. Su costo de 7,800.00 francos fue parcialmente financiado por bancos, el aporte del estado y el propio Eiffel, quien obtuvo la concesión de la explotación de la torre por 20 años. Se amortizó en pocos meses durante la exposición. Con posterioridad a ella, se utiliza en telecomunicaciones, estaciones de meteorología, investigación e incluso alberga un estudio de Eiffel.

Aunque hay profusa información publicada sobre esta torre y a que figura comentada como el ícono que es en muchos textos de la Historia de la Arquitectura, no podemos dejar de mencionar una bella publicación de Taschen que reproduce algunos de los planos y fotografías de la publicación monumental que en su momento hizo el propio Eiffel: la Torre de trescientos metros, algunas de cuyas láminas nos permitimos reproducir a continuación.



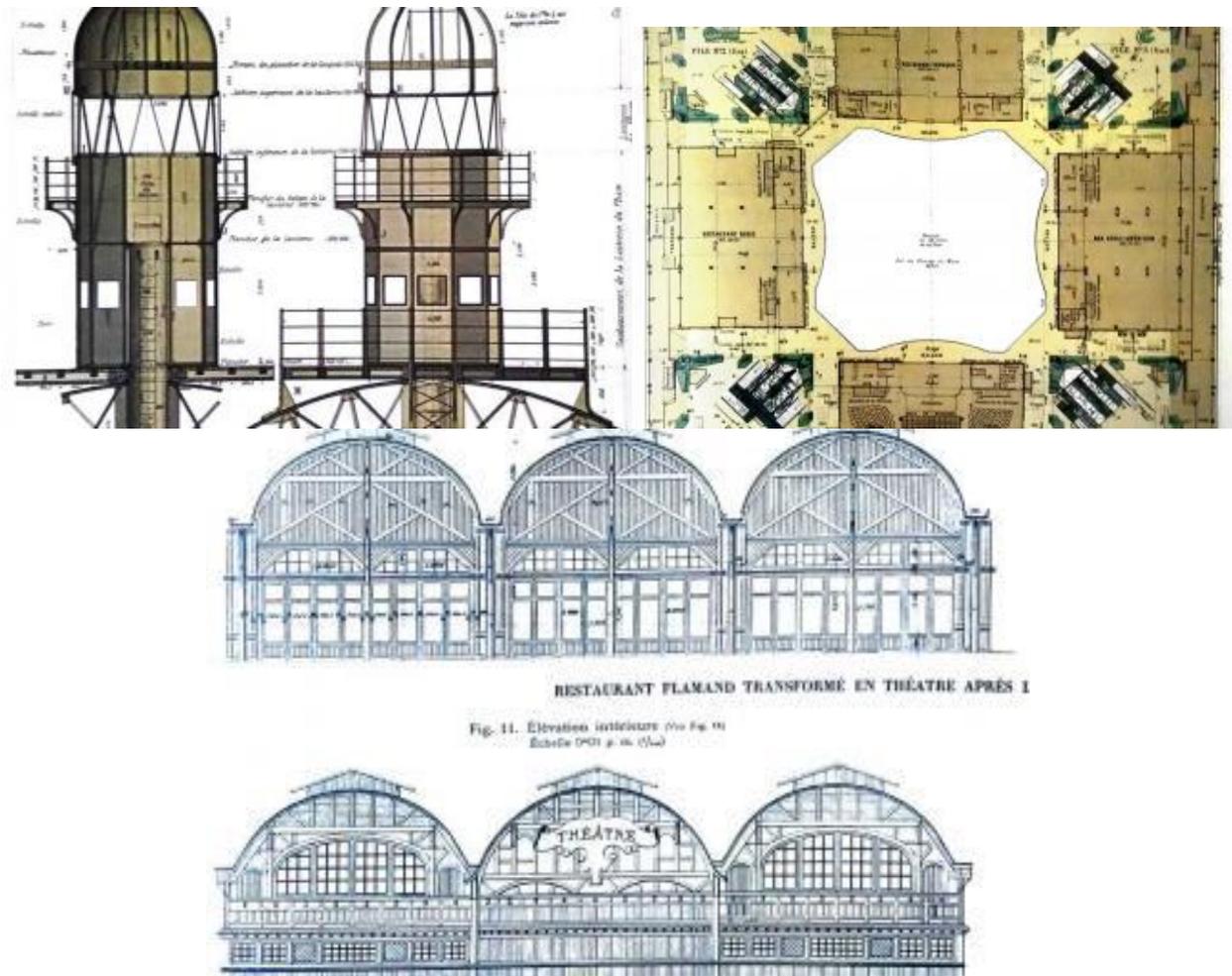


Figura 4.7 Detalles constructivos de la torre. Fuente: *The Eiffel Tower*, Taschen

5. EL ACERO DEL TITANIC

(<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9801/Felkins-9801.html>)

El RMS Titanic I fue un transatlántico británico, el mayor barco del mundo al finalizar su construcción, que se hundió en la noche del 14 a la madrugada del 15 de abril de 1912 durante su viaje inaugural desde Southampton a Nueva York. En el hundimiento del Titanic murieron 1514 personas de las 2223 que iban a bordo, lo que convierte a esta tragedia en uno de los mayores naufragios de la historia ocurridos en tiempo de paz. Construido entre 1909 y 1912 en el astillero Harland and Wolff de Belfast, el Titanic era el segundo de los tres transatlánticos que formaban la clase Olympic, propiedad de la naviera White Star Line, junto al RMS Olympic y, posteriormente, el HMHS Britannic. (https://es.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic)



Figura 5.1. Escena tomada de la película Titanic

Tras zarpar de Southampton el 10 de abril de 1912, el Titanic recaló en Cherburgo, Francia, y en Queenstown (hoy Cobh) en Irlanda, antes de poner proa al océano Atlántico. A las 23:40 del 14 de abril, cuatro días después de partir y a unos 600 km al sur de Terranova, el Titanic chocó contra un iceberg. La colisión abrió varias planchas del casco en su lado de estribor bajo la línea de flotación, a lo largo de cinco de sus dieciséis mamparos, que comenzaron a inundarse. Durante dos horas y media el barco se fue hundiendo gradualmente por su parte delantera

mientras la popa se elevaba, y en este tiempo varios cientos de pasajeros y tripulantes fueron evacuados en los botes salvavidas, de los cuales casi todos no fueron llenados a su máxima capacidad. Un número muy elevado de hombres murieron debido al estricto protocolo de salvamento que se siguió en el proceso de evacuación de la nave, conocido como «mujeres y niños primero». Poco antes de las 2:20 del 15 de abril, el Titanic se partió en dos y se hundió con cientos de personas todavía a bordo. La mayoría de los que quedaron flotando en la superficie del mar murieron de hipotermia, aunque algunos fueron rescatados por los botes salvavidas. Los 709 supervivientes fueron rescatados por el transatlántico RMS Carpathia unas horas después.

El acero dulce (de bajo carbono) era el tipo más empleado de acero para la construcción de los buques de la época. Al tener un contenido en carbono que no supera el 0.25%, era ideal para darle forma al no ser ni demasiado frágil ni demasiado maleable, pero su principal inconveniente era su tendencia a la corrosión, por lo que había que pintarlo con frecuencia y necesitaba un cierto grado de mantenimiento.

La introducción de los procesos de Bessemer y de Siemens-Martin (horno de solera abierta) en los años 50 y 60 del siglo XIX permitió producir acero barato y a gran escala, aunque los astilleros Harland & Wolff optaron por el acero fabricado según el proceso de Siemens-Martin, más lento y laborioso, aunque permitía comprobar constantemente las propiedades del acero y podía generar una mayor variedad de tipos.

En el casco *Titanic* se emplearon unas 2000 planchas de acero de un tamaño medio de unos 9 metros de largo por 1,8 metros de ancho; las más grandes podían alcanzar casi 11 metros de largo y pesaban 4250 kg. El espesor típico de las placas era de 2.5 centímetros, aunque variaba entre 1.5 y 3.8 centímetros dependiendo de las zonas.



Figura 5.2. El Titanic por dentro. | Ilustración de Ken Marschall.

Durante una expedición a los restos del hundimiento en el Atlántico Norte el 15 de agosto de 1996, los investigadores trajeron acero del casco de la nave para análisis metalúrgicos. Después de que el acero fue recibido en la Universidad de Missouri-Rolla, el primer paso fue determinar su composición. El análisis químico del acero del casco se da en la tabla 6.1. El primer elemento observado es el contenido de nitrógeno que es muy bajo. Esto indica que el acero no se hizo en el proceso de Bessemer; tal acero tendría un alto contenido en nitrógeno que habría hecho muy frágil, particularmente a bajas temperaturas. A principios del siglo XX, el otro método para la fabricación de acero estructural era el proceso de hogar abierto. El oxígeno bastante alto y el bajo contenido de silicio significan que el acero ha sólo sido parcialmente desoxidado, produciendo acero semicalmado. El contenido de fósforo es ligeramente superior al normal, mientras que el contenido de azufre es bastante alto, acompañada por un contenido de manganeso bajo. Esto da una relación de Mn:S de 6.8:1 — una relación muy baja para estándares modernos. La presencia de cantidades relativamente altas de fósforo, oxígeno y azufre tiende a fragilizar el acero a bajas temperaturas. Davies ha demostrado que en el

momento el Titanic fue construido, alrededor de dos tercios del acero producido en el Reino Unido se realizó en hornos con revestimiento ácido. Hay una alta probabilidad que el acero usado en el Titanic se hizo en un horno de hogar abierto ácido-alineado, que representa el fósforo muy alto y alto contenido de azufre. El revestimiento del horno de hogar abierto básico reacciona con fósforo y azufre para ayudar a eliminar estas dos impurezas del acero. Es probable que todo o la mayoría del acero vino de Glasgow, Escocia. En la tabla se incluyen las composiciones de dos otros aceros: acero utilizado para construir puertas de cerradura en el barco Chittenden que se trasladaba entre el lago Washington y Puget Sound en Seattle, Washington, y la composición de un acero moderno, ASTM A-36. La cerradura de la nave fue construida alrededor de 1912, por lo que casi tiene la misma edad que el acero del Titanic.

Tabla 6.1. Composición química de los aceros del Titanic, de un cerrojo y de acero A-36

	C	Mn	P	S	Si	Cu	O	N	Relación Mn/S:
Placa del casco del Titanic	0.21	0.47	0.045	0.069	0.017	0.024	0.013	0.0035	6.8:1
Lock Gate*	0.25	0.52	0.01	0.03	0.02	—	0.018	0.0035	17.3:1
ASTM A36	0.20	0.55	0.012	0.037	0.007	0.01	0.079	0.0032	14.9:1

*Steel from a lock gate at the Chittenden ship lock between Lake Washington and Puget Sound, Seattle, Washington.

Metalografía

Se utilizaron técnicas metalográficas estándar para preparar los especímenes tomados de la placa del casco del Titanic para la examinación de microscopio óptico. Después de esmerilado y pulido, grabado fue realizado con 2% Nital. Debido a que trabajo anterior por Brigham y Lafrenière mostró severas bandas en un espécimen de acero, muestras fueron cortadas de la

placa del casco en las direcciones longitudinales y transversales. La figura 2 muestra la microestructura del acero. En ambas imágenes, es evidente que el acero es congregado, aunque las bandas son más severas en la sección longitudinal. En esta sección, hay grandes masas de partículas MnS alargadas en la dirección de las bandas. El diámetro de grano promedio es $60.40 \mu\text{m}$ para la microestructura longitudinal y 41.92 de la microestructura en la dirección transversal. En ninguno de los dos micrografía la perlita puede resolver. Para la comparación, la figura 3 es una micrografía del acero ASTM A36, que tiene un diámetro de grano promedio de $26.173 \mu\text{m}$.

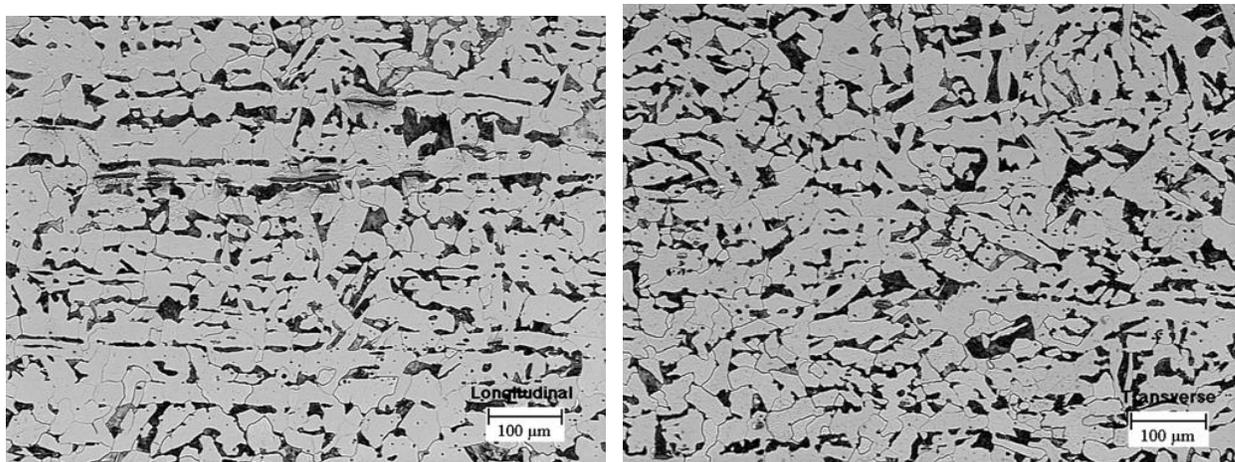


Figura 5.3. Micrografía del acero del caso del Titanic, a la izquierda el corte longitudinal y a la derecha, un corte transversal, pudiéndose apreciar colonias de perlita elongadas en forma de bandas y partículas de MnS. El reactivo de ataque es nital 2%

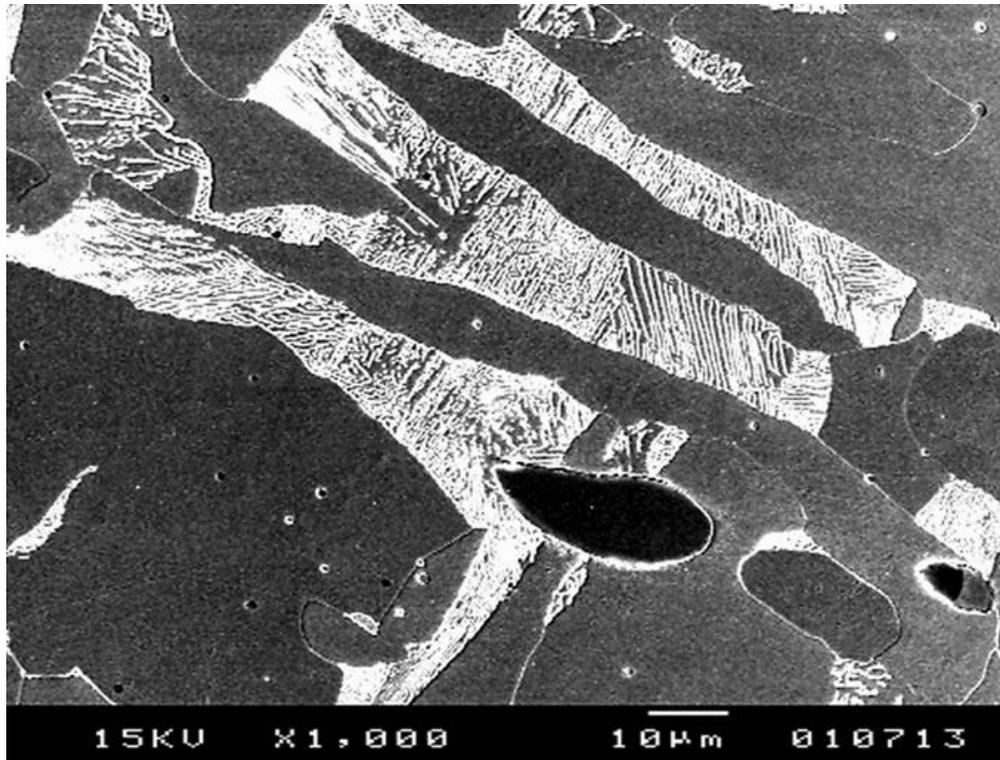
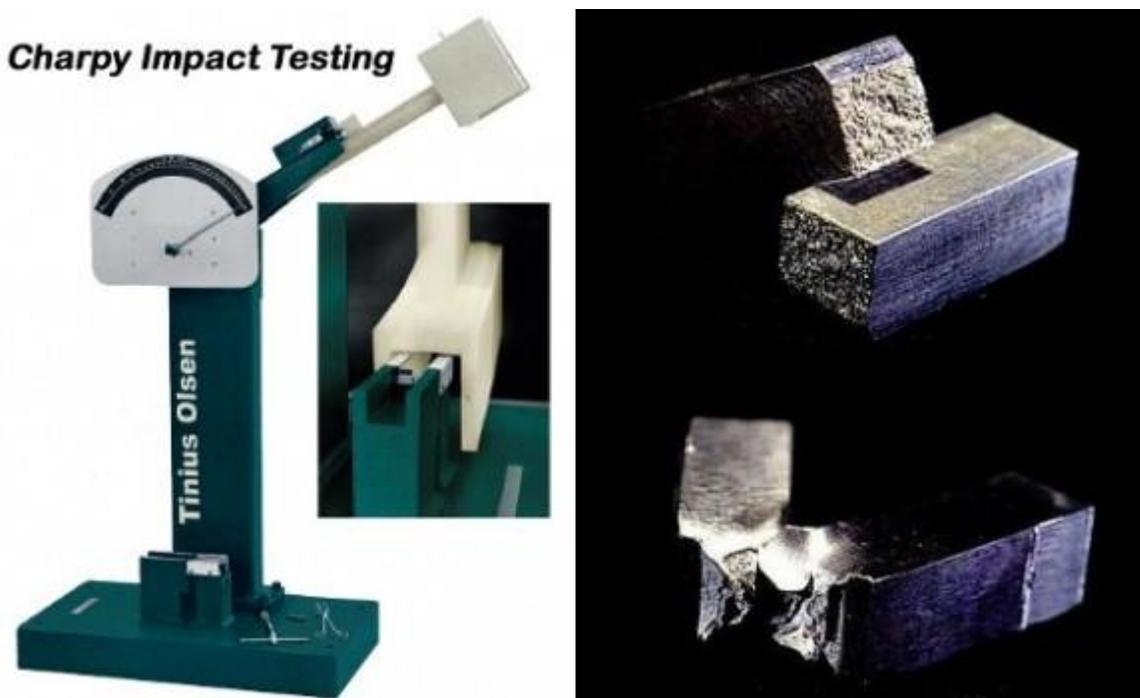


Figura 5.4. Micrografía obtenida mediante microscopio electrónico SEM Pudiéndose observar perlita, las zonas grises es ferrita y las partículas más oscuras identificadas como MnS. Se asume que la direccionalidad de las bandas se debe al rolado en caliente del acero

¿Acero frágil o remaches débiles? (<https://naukas.com/2012/04/14/la-ciencia-del-titanic/>)

Analizando acero recuperado del *Titanic* en la expedición de 1991 y sometiéndolo al **ensayo Charpy de impacto**, un sistema que permite estudiar el comportamiento mecánico de los materiales, un equipo de científicos del DREA (Defence Research Establishment Atlantic) y el CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology) descubrió que a la temperatura a la que estaba el agua cuando el *Titanic* chocó con el iceberg (unos dos grados bajo cero), el acero se volvía frágil.

Los resultados mostraron que la temperatura de transición dúctil-frágil, es decir, la temperatura en la que un material deja de ser maleable para volverse frágil estaba por encima de los 0 °C.



Figura

Figura 5.5. Péndulo que se emplea en los ensayos Charpy (izquierda). El péndulo golpea una muestra de acero que puede partirse (derecha, arriba) o deformarse en forma de «V» (derecha, abajo) dependiendo de su tenacidad. La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que absorbe un material antes de fracturarse. Cuanto mayor sea la energía absorbida, más resistente será el material.

Una forma bastante gráfica de imaginarse este ensayo es usar una tableta de chocolate e intentar romperla a diferentes temperaturas. Al aumentar la temperatura, llegará un momento en el que la tableta no se partirá limpiamente, sino que comenzará a doblarse antes de fracturarse. Esa sería la temperatura de transición dúctil-frágil del chocolate.

Este dato lo acompañaron con un análisis de la composición del acero del *Titanic* que indicaba que los niveles de azufre y fósforo eran superiores a los del acero moderno, sugiriendo que alguno de estos elementos podían haber contribuido a hacerlo más frágil.

El tratamiento mediático de este descubrimiento contribuyó a extender la «teoría del acero frágil»: el acero del *Titanic* era de mala calidad y debido a la baja temperatura del agua, las planchas se rompieron cuando el iceberg las presionó.

Cinco años más tarde, en otra serie de ensayos Charpy realizados a temperaturas entre -55 y 179 °C por un grupo de la Universidad de Missouri-Rolla con dos muestras de acero del *Titanic* recuperadas en la expedición de 1996 y comparándolas con una muestra de acero moderno ASTM A36, determinaron que la temperatura de transición del acero del *Titanic* era de unos 40 °C, mientras que la del acero A-36 era de -27 °C; en otras palabras, no hacía falta agua helada: el acero del *Titanic* se volvía frágil a la temperatura de un típico día de verano.

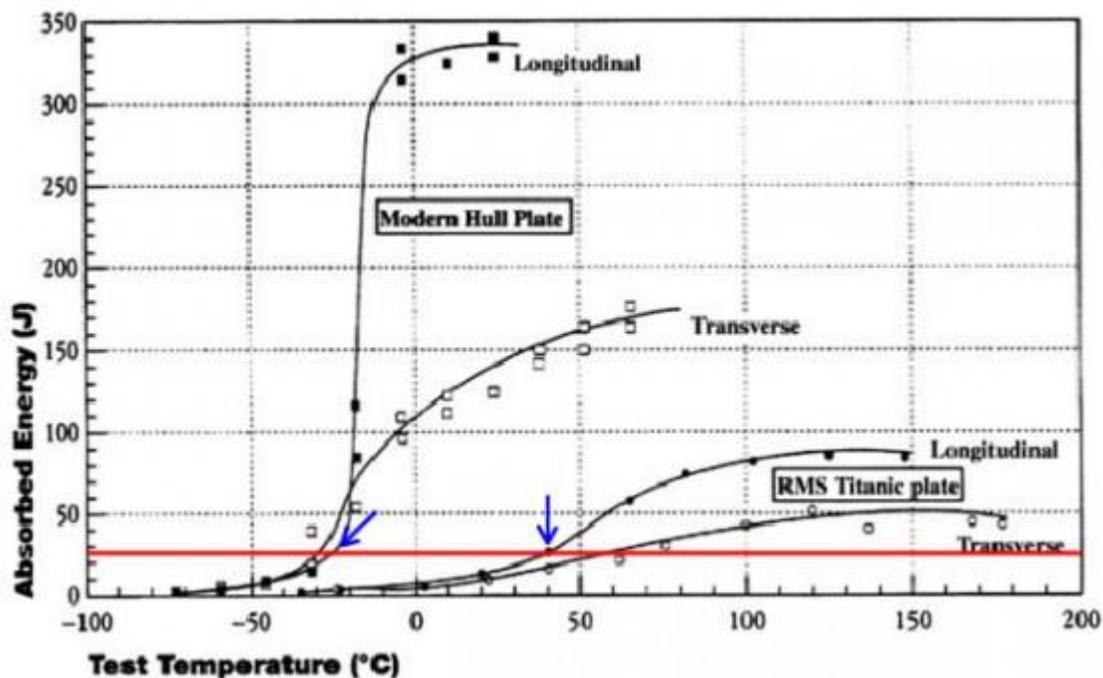


Figura 5.6. Gráfica del ensayo Charpy en la que se representa la cantidad de energía absorbida (en función de la diferencia entre la altura inicial del péndulo y la altura final después del impacto) frente a la temperatura. Según este ensayo, la temperatura de transición dúctil-frágil es aquella en la que el material absorbe 27 julios de energía.

Antes de la invención de la soldadura, las placas metálicas se unían mediante **remaches**. El principio es bastante simple: el remache, calentado al rojo vivo, se introduce en unos agujeros entre las placas y se golpea uno de sus extremos hasta que adquiere una forma aplanada o de seta. Al enfriarse, el remache se contrae y tira de las placas uniéndolas firmemente.

En el *Titanic* se emplearon remaches de acero dulce y de hierro forjado. Los primeros se colocaron mediante remachadoras hidráulicas en un 60% del casco, en la zona media donde se consideraba que se darían las mayores tensiones y las placas estaban unidas entre sí por tres o

cuatro filas de remaches. Los de hierro forjado los coloraron manualmente cuadrillas de remachadores en el restante 40%, en las secciones de proa y popa, demasiado estrechas para las voluminosas remachadoras de la época, y las planchas estaban unidas mediante una doble fila de remaches.



Figura 5.7. Zonas del Titanic donde se usaron los diferentes tipos de remaches.

Mientras el remachado hidráulico proporcionaba un acabado superior y homogéneo, el remachado manual era más heterogéneo y dependía bastante de la pericia de la cuadrilla que colocaba los remaches. Una forma de comprobar si los remaches habían sido bien colocados era golpearlos con un martillo; un tintineo indicaba que habían sido bien puestos, mientras que un sonido sordo indicaba lo contrario. En total, se emplearon tres millones de remaches en todo el barco.

Los remaches de hierro forjado venían en diversas calidades que dependían del grado de refinado del hierro (un laborioso proceso conocido como pudelación, que servía para rebajar el contenido de carbono y eliminar el azufre) y así se indicaban con un número. Los remaches de calidad óptima (*best-best*) eran del número 4, que indicaban el máximo grado de refinado. Según sostienen Jennifer Hooper McCarty y Tim Foecke, autores de *What Really Sank the Titanic*, dada la demanda, para el *Titanic* también se usaron remaches de calidad 3 (*best*).

Si el choque contra el iceberg fue un roce en lugar de un impacto directo, ¿cómo se comportaría el acero del *Titanic* frente a una deformación más lenta? Cuando Tim Foecke, del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) del Departamento de Comercio de Estados Unidos y uno de los investigadores que formaban parte del grupo de la Universidad de Missouri-Rolla, realizó pruebas adicionales con otros fragmentos de acero doblándolos lentamente mediante el **ensayo de flexión de tres puntos** (una técnica que permite medir la resistencia a la flexión) a la temperatura a la que se encontraba el agua cuando se hundió el *Titanic*, descubrió que su resistencia a la fractura era similar a la del acero empleado para construir los cargueros actuales.

Table 5.3 Comparativa entre el acero utilizado en el Titanic y un moderno acero NOM-1020

	<i>Titanic</i>	SAE 1020
Resistencia a la fluencia	193.1 MPa	206.9 MPa
Resistencia máxima	417.1 MPa	379.2 MPa
% de elongación	29%	26%
% de reducción de área.	57.1%	50%

Además, examinado a través del microscopio electrónico las fracturas producidas en el ensayo de Charpy, vio que las fracturas no se producían entre los límites de los granos, como cabía esperarse en el caso de un acero con un elevado contenido en azufre, sino por los granos, algo que dista bastante de un acero frágil. Así que dirigió su mirada a los remaches como posible causa del hundimiento.



Figura

5.8. Diferentes tipos de remaches usados en el Titanic

Tras analizar medio centenar de ellos junto con su estudiante de doctorado Jennifer Hooper McCarty y Timothy Weih, de la Universidad de Johns Hopkins, comprobaron que contenían niveles de escoria que variaban entre el 1.1 y el 12.8% y que la mayoría de los de hierro forjado habían perdido la cabeza. Ello les llevó a desarrollar la «teoría de los remaches débiles», que fue la tesis de McCarty y que exponen en su libro *What Really Sank the Titanic*.

Según esta teoría, las diferencias de calidad de los remaches, sumada a la diferente calidad del remachado realizado por diferentes cuadrillas de remachadores creó filas de remaches con una mayor tendencia a sufrir fallos estructurales.



Figura 5.9. Los remaches saltan cuando se ejerce presión sobre las placas.

La presión del iceberg hizo que reventaran algunos de esos remaches que mantenían unidas las placas del casco en la zona de la colisión, lo que creó un desequilibrio de tensiones que provocó el debilitamiento de los remaches vecinos, que también saltaron, creando una especie de efecto dominó que se extendió a los remaches de acero, supuestamente más resistentes que los de hierro forjado. Aun así, se muestran cautelosos de considerar su teoría como la responsable final del naufragio (al fin y al cabo, medio centenar de remaches analizados no son una muestra representativa de todo el casco):

6. ¿TUNGSTENO O WOLFRAMIO? O LA BATALLA PÉRDIDA POR LA QUÍMICA ESPAÑOLA

(Ireneu Castillo, http://ireneu.blogspot.mx/p/blog-page_9.html)

Si alguien le preguntase si le suena la palabra wolframio, igual no sabrá a lo que se refiere, pero seguro que la habrá oído alguna vez. Esto mismo le pasará si le preguntan por el tungsteno, aunque si alguna vez ha cambiado una bombilla de incandescencia, estoy convencido que le sonará mucho más. Sea uno o sea otro, lo que es posible que no sepa es que ambas palabras se refieren al mismo elemento químico y que esta extraña dualidad esconde tras de sí una lucha de poder mundial en que España está directamente implicada.

Al mirar la tabla periódica de los elementos, si nos centramos en el elemento con número atómico 74 se encuentra que el símbolo de esta sustancia es la W. No obstante, según qué tabla miremos, el nombre variará entre wolframio (o volframio) y tungsteno. ¿Un elemento con dos nombres? Si, pero no exactamente. Más bien se trata de dos criterios: uno impuesto oficialmente y el otro... español.



Figura 6.1. ¿Tungsteno o Wolframio?

El wolframio o tungsteno es un metal muy raro que tiene consideración de estratégico entre los gobiernos mundiales. Su característica principal es que las aleaciones de acero que incluyen este elemento aumentan su dureza y resistencia una barbaridad, por lo que es un material que está especialmente buscado para la construcción de blindajes militares y para endurecer el acero de

las balas... aparte de para hacer los filamentos de las bombillas -un uso totalmente secundario, conociendo las prioridades de los gobiernos, claro está.



Figura 6.2. Carl Wilhelm Scheele

El origen de los dos nombres se ha de buscar en los orígenes de su descubrimiento. Tungsteno proviene del sueco y significa literalmente "piedra pesada" debido a que los químicos suecos Carl Wilhelm Scheele y Torbern Bergman en 1781 predijeron la existencia de un nuevo elemento en un mineral blanco muy denso que recibía el nombre popular de "tung-sten". Si bien no consiguieron aislarlo, las publicaciones químicas inglesas -las más reputadas de la época- popularizaron el nombre de tungsteno entre la comunidad científica, sobretodo anglosajona.



Figura 6.3. Fausto de Elhuyar

Por su parte, wolframio tiene un nombre mucho más antiguo. En 1556, el mineralogista alemán Georgius Agrícola descubrió un mineral que se encontraba entre el mineral de estaño y lo corroía completamente, dejando una espuma. Debido a esta característica se decía que el estaño desaparecía como comido por un lobo, por lo que a este mineral se le llamó wolframita, de "espuma de lobo" o "wolf rahm", en alemán. No obstante, en 1783, los hermanos riojanos Fausto y Juan José Elhuyar descubrieron que el elemento que formaba la wolframita era el mismo que formaba el tungsteno, con la diferencia de que fueron capaces de separar el elemento en cuestión, por lo que aconsejaron que se llamara "volframio", al provenir de la wolframita. Y aquí empieza el follón.



Figura 6.4. Juan José de Elhuyar

A pesar de que el descubridor tiene el derecho a poner el nombre que quiera a su descubrimiento, los países anglosajones continuaron usando el nombre de "tungsteno" (tungsten, en inglés), mientras que los españoles y los países de la órbita alemana y eslavos lo llamaron -y de hecho lo llaman- "wolframio" (wolfram). Hasta aquí, cada uno en su casa y Dios en la de todos, que se dice popularmente, pero el problema llegó cuando a finales del s. XIX, se hicieron intentos de unificar la nomenclatura química a nivel internacional... y cada uno arrimó el ascua a su sardina.

Durante las dos guerras mundiales, el wolframio se convirtió en una auténtica arma de guerra por sí sola, ya que las reservas de este mineral eran vitales para los diversos contendientes, pero no fue hasta 1949 en que la IUPAC (la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) decidió abordar el problema de la denominación dual del wolframio/tungsteno. Hasta entonces, al máximo consenso que se había llegado era a designar el elemento de número atómico 74 con el símbolo W, pero a partir de aquí cada uno lo llamaba como quería.



Figura 6.5. Logo de la IUPAC

Durante el simposio de 1949, la ponencia en defensa de "wolframio" llevada a cabo por el químico español Enrique Moles consiguió convencer a la comisión encargada, la cual aprobó que la denominación oficial fuera "wolframio"(wolfram, en inglés) y que "tungsteno" fuera utilizado de forma comercial. Sin embargo esto no gustó ni un pelo a los Estados Unidos, los cuales no iban a permitir que quedara la cosa así.

La situación era clara. En un momento en que la Guerra Fría comenzaba a estar calentita, los estadounidenses, al margen de cualquier consideración meramente química, lo que no iban a permitir era que una denominación utilizada ampliamente por la Unión Soviética y todo su bloque, por la derrotada Alemania y por la España franquista, le pasara la mano al nombre utilizado normalmente por los aliados. Tanto daba que los propios suecos no utilizaran "tungsteno" para denominar al wolframio. Lo que habían perdido en el laboratorio, lo ganarían en la calle. Y lo ganaron.



Figura 6.6. Wolframita

Ante la decisión, la prensa norteamericana empezó a presionar sobremanera a los químicos distribuyendo la noticia falsa de que "tungsteno" se había prohibido, lo que hizo poner el grito en el cielo a toda la opinión pública anglosajona. La inusitada presión, que sorprendió a la comisión de la IUPAC, hizo que en la conferencia de 1951 tiraran para atrás la decisión de 1949 y volvieran a hacer oficial el nombre "tungsteno", aduciendo que los intentos de introducir la palabra "wolframio" en Estados Unidos habían sido infructuosos y que su desconocimiento aconsejaban volver a la oficialidad a "tungsteno". De esta forma tan burda, el equilibrio de bloques volvía a su punto de partida y así se mantendría por casi medio siglo.



Figura 6.7. Filamento de tungsteno

No obstante, después de 50 años de estar en el filo de la navaja entre uno y otro nombre, en el Libro Rojo de las nomenclaturas de 2004, la IUPAC, sin encomendarse a ningún santo, decidió eliminar la denominación "wolframio" y dejar como única y oficial a "tungsteno". La excusa fue que, como la única lengua oficial de la IUPAC era el inglés (en 1951, lo era también el francés, pero se eliminó más tarde), pues la versión inglesa era la buena... y dos piedras para los demás. Las quejas repetidas de los químicos españoles, que adujeron que la IUPAC se había pasado por el forro el derecho de los descubridores a poner el nombre y los acuerdos de 1949 y 1951, simplemente no fueron tomadas en consideración.

En la actualidad, la IUPAC continúa manteniendo la oficialidad del tungsteno frente a wolframio a pesar de seguir manteniendo el símbolo como la W. La realidad es que el creciente peso específico de los países anglosajones dentro de la entidad (EE.UU tiene 661 representantes y Gran Bretaña, 299, frente a los 286 químicos alemanes, los 110 rusos y 58 españoles) hace que un punto de vista diferente, por muy objetivo que sea, simplemente no sirva para nada.

Para que después digan del peso internacional de la marca España y, encima, vayan recortando en investigación.



Figura 6.8. Sello conmemorativo del descubrimiento del wolframio

7. LA DAGA DE TUTANKÁMON

La combinación (casi cabría escribir aleación) no puede ser más sugerente: Tutankamón y algo venido del espacio. La noticia de que, según un nuevo estudio, el hierro de una de las dagas halladas en la tumba del faraón procede de un meteorito invita a titulares tan sensacionales como *Tutankamón portaba un arma extraterrestre* o *el cuchillo de la momia no es de este mundo*, que desde luego tienen gancho. En todo caso la historia ya es bastante maravillosa sin necesidad de retorcerla.

Cuando Howard Carter desenvolvió la momia de Tutankamón en 1923 –un año después del hallazgo de la tumba- aparecieron sobre el cuerpo del joven rey, entre otros muchísimos tesoros, dos dagas ceremoniales de asombrosa factura: una atravesada en un cinturón sobre el abdomen y la otra colocada sobre el muslo derecho. Si la primera, de 31.,9 centímetros, era una auténtica joya, con mango y vaina de oro, piedras semipreciosas y pasta vítrea y la hoja enteramente de oro, la segunda (numerada 256K), un poco más larga (34,2 centímetros) e igualmente una obra de arte, con pomo de cristal de roca, reveló al sacarla de su vaina una sorpresa mayúscula: la hoja de hierro.



Figura 7.1. La daga de Tutankamón que procede de un meteorito. UNIVERSIDAD DE PISA

Ya desde entonces se comenzó a especular con la procedencia de ese metal, dado que los egipcios de la época no producían aún hierro –el reinado de Tutankamón, hace más de 3,300 años, se sitúa en la Edad del Bronce- y los objetos de ese material eran extremadamente raros en su cultura y más valiosos incluso que el oro. Se dio por sentado que el hierro procedía de otros pueblos contemporáneos que sí lo forjaban como los hititas de Anatolia. De hecho, las cartas de Amarna –la correspondencia oficial de Egipto con otros estados durante el Imperio Nuevo- mencionan el regalo a los faraones de armas de hierro (y un brazalete), incluida una daga muy parecida a la de Tutankamón que le envió a su abuelo, Amenofis III, el rey Tushratta de Mitani, y que muy bien podría haber heredado el joven monarca.

La idea de que el hierro podía proceder de un meteorito –cuerpos celestes que los antiguos egipcios conocían y probablemente reverenciaban, como muchas otras culturas, desde los inuit a los tibetanos- no es nueva (se realizaron pruebas en 1970 y 1994), pero nunca se habían presentado datos concluyentes. La nueva investigación, llevada a cabo por un equipo italiano-egipcio y publicada en un pormenorizado artículo en la revista *Meteoritics & Planetary Science*(<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/maps.12664/full>), asegura que los análisis que han realizado en dos zonas de la daga –que se exhibe en el Museo Egipcio de El Cairo- prueban la teoría. La composición de la hoja, determinada con exactitud mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X, presenta un alto porcentaje de níquel (11 %) solo compatible con la procedencia de hierro de meteorito. Las trazas de cobalto en el metal confirman la hipótesis, según los estudiosos, que destacan que el análisis se produjo con un aparato portátil en el propio museo y sin que la daga sufriera ningún riesgo.

Los investigadores creen haber descubierto además el meteorito del que procede el hierro del puñal. Tras comparar las muestras con las de todos los 20 meteoritos de hierro conocidos en la región, concluyen que proviene de la octaedrita de 1 kilo bautizada como *Kharga* y hallada en 2000 en el puerto de Mersa Metruh, a 240 kilómetros al oeste de Alejandría. Los estudiosos subrayan que la primorosa factura de la hoja revela que los artesanos de la época de Tutankamón (Dinastía XVIII) poseían una capacidad de trabajar el hierro superior a la que se les atribuía. Apuntan también que su investigación arroja nueva luz sobre el hecho de que la palabra hierro se relacionara con el cielo en antiguos textos mesopotámicos, hititas y egipcios, con un jeroglífico incluso, en uso en la XIX Dinastía (la de Ramsés II), que podría traducirse como “hierro del cielo”.

La daga de Tutankamón no es el único objeto de hierro de meteorito hallado en Egipto. Ni el más antiguo: en una tumba en Gerzeh, cerca de El Fayum, aparecieron nueve cuentas de collar hechas martilleando cuidadosamente el metal extraterrestre que datan de hace 5,200 años. El puñal podría incluso no ser la única pieza del ajuar de Tutankamón con material resultado de la caída de un meteorito. Se ha propuesto que una rara gema amarillenta tallada como un escarabeo e incrustada en el collar del faraón es en realidad cristal formado al fundirse la arena por el calor producido al estrellarse un meteorito en el desierto.

8. EL DESCUBRIMIENTO DEL COLUMBIO, PERDÓN... DEL NIOBIO.

(<https://ahombrosdegigantescienciytecnologia.wordpress.com/2015/11/26/el-descubrimiento-del-columbio-perdon-del-niobio/> Publicado por Jose Varela)

El 26 de noviembre de 1801, el químico británico Charles Hatchett (Londres, 2 de enero de 1765 – idem, 10 de marzo de 1847) , anuncia en la Royal Society en Londres, el descubrimiento de un nuevo elemento, el columbio.



Figura 8.1. Charles Hatchett

El niobio (o columbio) es un elemento químico de número atómico 41 situado en el grupo 5 de la tabla periódica de los elementos. Se simboliza como Nb.

Es un metal de transición dúctil, gris, blando y poco abundante. Se encuentra en el mineral niobita, también llamado columbita, y se utiliza en aleaciones.

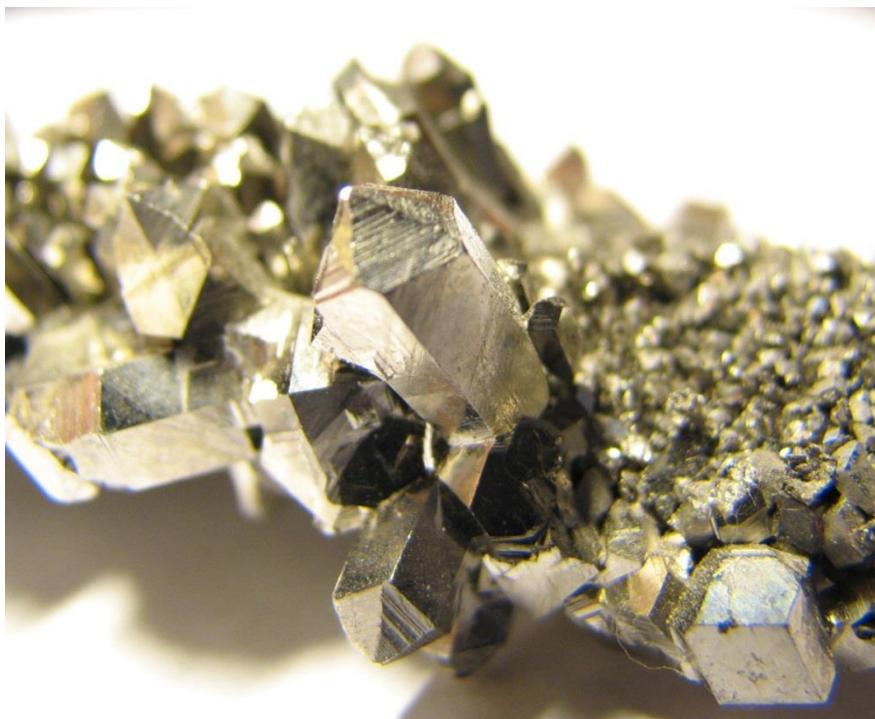


Figura 8.2. Columbita o niobita

En 1801 mientras trabajaba para el Museo Británico en Londres, Hatchett analizó una pieza de columbita perteneciente a la colección del museo y que había sido enviada por John Winthrop, gobernador de Connecticut.. La columbita resultó ser un mineral muy complejo, y Hatchett descubrió que contenía una “nueva tierra”, que implicaba la existencia de un nuevo elemento

En 1809, el químico William Hyde Wollaston inglés creyó que el tántalo y el columbio eran idénticos (de hecho son difíciles de distinguir y sus propiedades son muy similares). En 1846 el químico alemán Heinrich Rose demostró que los minerales de tántalo contienen dos elementos. Al segundo de ellos lo nombró niobio en honor a Niobe, la hija de Tántalo en la mitología griega. Entre 1864 y 1865, se demostró que el niobio y columbio eran el mismo elemento (a diferencia del tantalo), y desde hace un siglo se utilizaron ambos nombres indistintamente.

Hatchett sabía que existía el niobio, pero fue incapaz de aislarlo. Blomstrand lo preparó por primera vez en 1864 por reducción: calentando el cloruro en atmósfera de hidrógeno.

El nombre de niobio se adoptó por la IUPAC en 1950, pero el nombre de columbio sigue siendo de uso corriente en los países anglosajones en la metalurgia en los Estados Unidos.

El niobio es un metal gris, dúctil, y paramagnético que se encuentra en el grupo 5 de la Tabla Periódica. Su peso atómico es 92.906.

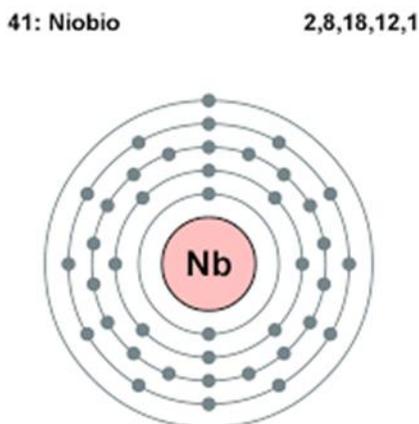


Figura 8.3. El átomo de Niobio

Tiene un isótopo natural el $^{93}\text{-Nb}$ y treinta y dos inestables, uno de ellos con un período de semidesintegración de $3,47 \times 10^7$ años ($^{92}\text{-Nb}$); el resto de los inestables tiene un período de semidesintegración que oscila entre 0,17 segundos ($^{110}\text{-Nb}$) y 20300 años ($^{94}\text{-Nb}$). El modo de desintegración principal de los isótopos más ligeros que el estable Nb-93 es la captura electrónica y de los más pesados que el estable la emisión beta y, en el caso de los isótopos Nb-104, 109 y 110, también la emisión neutrónica.

Se estima que el niobio es el 33 ° elemento más común en la superficie de la Tierra, con 20 ppm lo que representa el 2 · 10⁻³% en peso de la corteza terrestre.

El elemento no se encuentra libre en la naturaleza , pero el niobio se produce en combinación con otros elementos minerales. Los minerales que contienen niobio a menudo también contienen tántalo. Los ejemplos incluyen la columbita ((Fe , Mn) (Nb, Ta) 2O6) y columbita – tantalita (coltan o , (Fe , Mn) (Ta, Nb) 2O6).

La obtención del metal implica una primera etapa de separación del tántalo mediante disolventes y la transformación en Nb_2O_5 . Éste se reduce en dos etapas con carbón; en la primera, a $800\text{ }^\circ\text{C}$, se forma NbC , que en la segunda, a $2000\text{ }^\circ\text{C}$, actúa como reductor del óxido y se produce el metal.

El niobio se convierte en un superconductor a temperaturas criogénicas. A presión atmosférica, que tiene la temperatura crítica más alta de los superconductores elementales, el niobio tiene mayor profundidad de penetración magnética que cualquier elemento. Además, es uno de los superconductores de tipo tres elemental II, junto con vanadio y tecnecio.

Las propiedades superconductoras son fuertemente dependientes de la pureza del niobio metal. Cuando es muy puro, es relativamente más blando y dúctil, pero las impurezas hacen que sea más duro. El metal tiene una baja sección transversal para los neutrones térmicos; por lo que se utiliza en las industrias nucleares.

El metal adquiere un tinte azulado cuando se expone al aire a temperatura ambiente durante largos períodos de tiempo. A pesar de presentar un alto punto de fusión, en forma elemental ($2468\text{ }^\circ\text{C}$), tiene una baja densidad en comparación con otros metales refractarios. Además, es resistente a la corrosión, presenta propiedades de superconductividad, y forma capas de óxido dieléctrico.

Es insoluble en ácidos e incluso en agua regia. Es muy inerte a todos los ácidos, menos el fluorhídrico. El niobio metálico se oxida lentamente en solución alcalina. Reacciona con el oxígeno y los halógenos en caliente para formar los halogenuros y el óxido en estado de oxidación V, con nitrógeno para formar NbN y con carbono para formar NbC , así como con otros elementos como arsénico, antimonio, telurio y selenio.

La mayor parte del niobio se usa en aceros inoxidable especiales, en aleaciones de alta temperatura y en aleaciones superconductoras como Nb_3Sn .

En soldadura se emplea el niobio para ligar los componentes de acero inoxidable. Los fabricantes de acero agregan pequeñas cantidades de un compuesto de niobio-hierro conocido como ferroniobio para aumentar la fortaleza de sus productos, así como la resistencia a las temperaturas y a la corrosión. El acero combinado con niobio es utilizado en las industrias

aeroespacial (se emplea en la construcción de sistemas de distribución de aire de cápsulas espaciales), química, de energía eléctrica y automotriz.

Existen aleaciones superconductoras de estanio-niobio y aluminio-niobio. Los metales encuentran su uso en giroscopios para navegación aeroespacial, así como para artefactos de imágenes por resonancia magnética.

En aleación con titanio, se puede extrusionar el niobio en un alambre superconductor que luego se puede moldear para formar imanes que no pierden la superconductividad al ser colocados en campos magnéticos externos. Se utiliza como capa protectora para condensadores cerámicos.

Algunos aceleradores de partículas incluyen cámaras moldeadas de niobio puro o aleado. Cuando se enfrían a una temperatura cercana al cero absoluto, estas cámaras de niobio se vuelven altamente magnéticas y superconductoras, lo cual permite aumentar la velocidad de las partículas subatómicas.

También se utiliza en pilas nucleares recubriendo las barras de combustible nuclear.

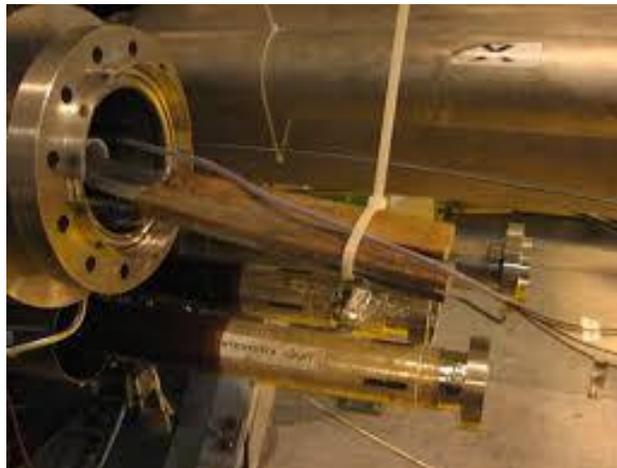


Figura 8.4. Aplicaciones del niobio

9. EL PILAR DE DELHI

Son conocidos los efectos que sufre el **hierro** estando a la intemperie. El simple paso del tiempo va debilitando y oxidando su superficie hasta mermar cualquier estructura elaborada con este material. Pero ¿Y si te dijéramos que existe una imponente columna en la India que es incorruptible? ¿Qué tiene más de 1,600 años y que no dispone ni de una sola mota de óxido?

El Pilar de Delhi, también conocido como Pilar de Hierro de Delhi, en la India, es un monumento realizado durante el reinado del emperador Chandragupta, de la dinastía Gupta, en el siglo IV o, quizás, en el V. Si bien algunas versiones ubican el pilar tan antiguamente como en el siglo X a. C., estas teorías normalmente no son aceptadas por quienes han estudiado las inscripciones en el pilar. De acuerdo con estas inscripciones, el Pilar de Delhi se hizo en honor al dios Visnú. Fue el rey Chandra Varman quien la mandó construir... o más que construir, levantar, puesto que aún hoy no se sabe claramente cuál es su origen, y se cree, simplemente, que fue trasladada desde otro sitio. De hecho, solo se conocen dos cosas, que dispone de una leyenda redactada en sánscrito y que a pesar de disponer del 98% de pureza de hierro, no se oxida.



Figura 9.1. Pilar de hierro de Delhi (Photograph taken by Mark A. Wilson (Department of Geology, The College of Wooster).[1] - Original photograph, Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=415006>)

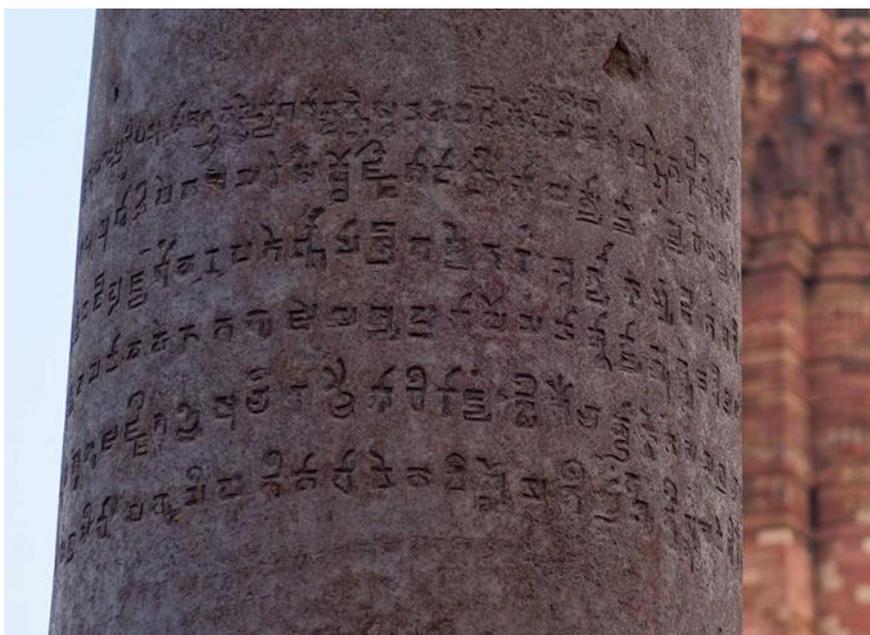


Figura 9.2. Inscripción en el Pilar de Delhi

El monumento tiene 7 metros de altura, 1.5 metros de diámetro y pesa 6 toneladas. Pero tiene una particularidad que lo ha hecho bastante reconocido ante la comunidad arqueológica: a pesar de estar hecho de hierro, el monumento presenta poquísima corrosión después de más de 15 siglos de erigirse. Incluso, se supone que se ha movido de lugar varias veces, pero nada de esto ha afectado su estructura, que permanece incólume ante los elementos.

Las historias existentes entre la población al respecto de su querida torre de hierro que no se oxida, se centran en la idea de que lo que vemos hoy en día de la Iron Pillar, no es más que la punta del iceberg. Es decir, que solo vemos una tercera parte de lo que en verdad es y que se esconde más abajo... bajo tierra. Dicen los rumores que tiene en realidad ni más ni menos que 18 metros de altura, y que su base, en las profundidades, tiene un diámetro de 41 centímetros. Así pues, la columna visible no sobresale del suelo más que 6'60 metros. Se podría decir pues que está férreamente asentada al subsuelo



Figura 9.3. Otra perspectiva del Pilar de Delhi <https://supercurioso.es/wp-content/uploads/2014/06/iron-pillar-india-oxido.jpg>

¿De qué está hecho?

Los análisis sobre el Pilar han mostrado resultados sorprendentes. El pilar está compuesto de hierro en aleación con diversos elementos, todos los cuales lo protegen de la corrosión. Estos elementos y compuestos serían el hidrato fosfatado de hidrógeno férrico, oxihidróxidos de hierro amorfo y magnetita, en mayor parte, pero también fósforo y cristalinos de una formación fosfórico – ácida.

Estos elementos no se agregaron por azar, sino que nos muestran el inmenso talento de los herreros indios en la construcción de aleaciones resistentes. Es tal la complejidad del Pilar que muchas personas claman que los herreros recibieron información de una sociedad más avanzada, ya fuera esta humana o extraterrestre. La conservación es tan buena que las letras, talladas en el metal, aún son perfectamente visibles, y han servido para estudiar el monumento.

El Pilar de Hierro de Delhi es un monumento icónico y una muestra del conocimiento y la habilidad de los antiguos habitantes de la India. ¿Creen ustedes que su tecnología era lo suficientemente avanzada para construir el pilar

10. SI ERA UN NUEVO ELEMENTO....

El 10 de noviembre de 1764 nació en Madrid el mineralogista hispano-mexicano Andrés Manuel del Río Fernández, descubridor de un elemento químico que acabaría llamándose vanadio, un metal blando y poco abundante usado en aleaciones.



Figura 10.1 Andrés Manuel del Río (Madrid, 1764 - Ciudad de México, 1849); eminente científico, descubridor del vanadio. (Wikipedia)

Del Río pasará a la Historia por el descubrimiento de un nuevo elemento químico. En 1801, cuando estudiaba muestras de un yacimiento de plomo en una mina Cardonal en Hidalgo cercana a Real del Monte y Pachuca, en el actual municipio de Zimapán, Hidalgo (México) <https://ahombrosdegigantescienciytecnologia.wordpress.com/2016/03/24/el-autentico-descubridor-del-vanadio-manuel-del-rio/>

Del Río extrajo el elemento de una muestra de plomo “marrón” de mineral mexicano, más tarde llamado Vanadinita. Encontró que sus sales presentaban una gran variedad de colores, y como resultado llamó al elemento panchromium (en griego: πανχρώμιο que significa “todos los colores”). Como anécdota el nuevo elemento se denominó originariamente “Zimapanio” por la

localidad de su hallazgo. Más tarde, Del Río cambió el nombre del elemento a Erythronium (en griego: ερυθρός que significa “rojo”).



Figura 10.2. Vanadinita

Del Río enseguida se percató de la importancia de su descubrimiento, sin embargo en 1805, el químico francés Hippolyte Victor Collet – Descotils (Caen, 21 de noviembre de 1773 – París, 6 de diciembre de 1815), uno de los precursores en el descubrimiento del iridio en 1803 y el primer científico en haber confirmado la existencia del elemento cromo descubierto en 1797 por el químico francés Louis Nicolas Vauquelin (16 de mayo de 1763 – 14 de noviembre 1829) desestimó el hallazgo de Del Río, declarándolo incorrectamente como una muestra impura de cromo. Alexander von Humboldt apoyó a Collet – Descotils en su decisión y Del Río tuvo que retractarse de su afirmación.

Treinta años después del descubrimiento de Del Río, en 1831, el químico sueco discípulo de Berzelius, Nils Gabriel Sefström, (2 de junio de 1787- 30 de noviembre de 1845) mientras estudiaba minerales asociados al acero, “redescubrió” el mismo elemento y lo hizo público en su artículo “Ueber das Vanadin, ein neues Metall, gefunden im Stangeneisen von Eckersholm, einer Eisenhütte, die ihr Erz von Taberg in Småland bezieht”. *Annalen der Physik und Chemie* 97: 43–49; 1831.

Tanto Sefström como Wöhler eran discípulos de Berzelius, y los trabajos de identificación fueron realizados en los laboratorios de este último en Estocolmo bajo su dirección. Es allí donde en enero de 1831, separa el óxido del nuevo metal en estado puro. Lo que ocurrió es que Berzelius, en contra de los usos y costumbres de la investigación científica, quiso atribuir todos los derechos de la investigación a su discípulo. Cuando se realizó esto, Sefström no sabía que su metal era el mismo que el eritronio de Del Río, que suponía se trataba de cromo. Sólo más tarde comparando los comportamientos, se dieron cuenta que hacían referencia al mismo elemento. Al principio, Sefström creía que lo que había descubierto era un hierro diferente del normal, mucho más blando, procedente de la forja, semejante a lo que se conocía como hierro agrio. Sólo, por exclusión, en el análisis del polvo negro obtenido, después del tratamiento con ácido muriático (HCl), concluyó que debía contener el óxido de un elemento nuevo.

Un poco en desagravio de los científicos que dieron un veredicto equivocado, los documentos que Del Río había enviado a Francia, por separado de las muestras, que aportaban información valiosa en apoyo de su tesis de haber descubierto un nuevo elemento se perdieron en la larga travesía por un lamentable naufragio. Del Río, que entonces ignoraba lo sucedido, aceptó la resolución de los químicos franceses con *deportividad científica*.

Andrés Manuel del Río, tras una productiva vida académica en Europa y Norteamérica, murió el 23 de marzo de 1849 en ciudad de México. Su obra y pensamiento político liberal fueron fundamentales para la construcción de la nación mexicana, cuya independencia de España apoyó.

Este mineralogista fue uno de los fundadores del Palacio de Minería en la capital mexicana, sentando las bases de lo que hoy es el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. También fue miembro de otras muchas instituciones, como la Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid, la Sociedad Werneriana de Edimburgo, la Real Academia de Ciencias del Instituto de Francia, la Sociedad Económica y la Sociedad Linneana de Leipzig y la Sociedad Filosófica de Filadelfia, además de ser presidente de la Sociedad Geológica de Filadelfia y del Liceo de Historia Natural de Nueva York.

Su extensa obra científica incluye el descubrimiento y descripción de varias especies minerales, así como el desarrollo de métodos innovadores para la extracción de minerales.

II. “ANTIGUA” PIEZA DE ALUMINIO

(<http://squitel.blogspot.com/2017/07/el-artefacto-de-aiud-un-objeto.html>)

El descubrimiento de una antigua pieza de aluminio ha sido catalogado como evidencia contundente de la visita de *alienígenas* a la Tierra hace más de 250,000 años.

Los trabajadores de una cantera de arena en las orillas del río Mures, cerca de la ciudad rumana de Aiud, fueron los descubridores del objeto. Al excavar a una profundidad de 33 pies (10 metros), los trabajadores descubrieron accidentalmente un depósito de huesos fosilizados.

Tras el estudio en el lugar del hallazgo de los restos, el equipo de especialistas afirmó que eran huesos fosilizados de mastodonte, mientras que el objeto misterioso fue catalogado como “hacha de piedra”, probablemente utilizada para cazar. Los hallazgos fueron enviados al Museo de Historia de Transilvania, en Cluj.



Figura 11.1. Uno de los fósiles encontrados en el lugar

Una vez llevados los restos al museo, procedieron a quitar la capa de arena endurecida de la supuesta hacha, pero la sorpresa llegó al encontrar un objeto evidentemente artificial realizado con un “metal ligero”. Pronto se hizo evidente que aquello no era un hacha de piedra.



Figura 11.2 El objeto de metal fue encontrado junto a dos huesos de un mamífero extinto.

Los fósiles de mastodontes databan de unos 10,000 años, pero el objeto metálico encontrado en el mismo lugar mostraba signos de haberse realizado con equipos modernos. Mide 8 x 5 x 3 pulgadas y pesa aproximadamente 5 libras. Su forma era un claro indicador de que fue parte de un conjunto de algo mucho más grande, y muchos investigadores han señalado que se asemeja a los pies del tren de aterrizaje de un avión.

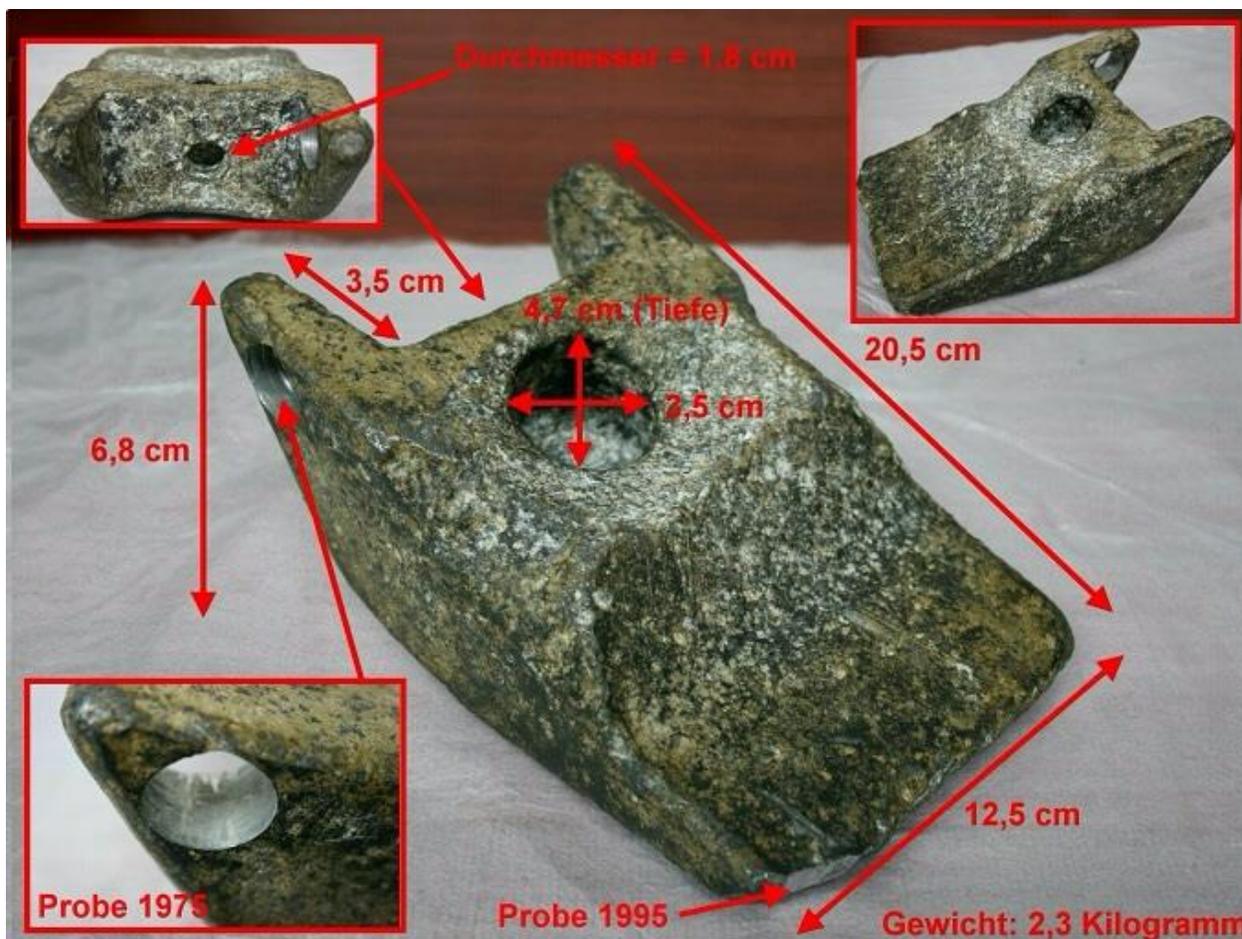


Figura 11.3. Dimensiones de la pieza encontrada

Análisis de laboratorio llevados a cabo en Lausanne, Suiza, han revelado que el fragmento de metal está compuesto de un 90 por ciento de aluminio, el 10 por ciento restante por 11 metales diferentes, y que tiene una antigüedad de 250,000 años, informa el diario británico The Sun. Algo interesante, los investigadores se centraron en una pista que había sido ignorada antes: la capa de óxido de aluminio que cubría el artefacto. El aluminio no se corroe con facilidad, pero la capa de óxido sobre este objeto era tan gruesa como 3 milímetros. Los expertos del centro de investigación creen que esto es una prueba irrefutable de que el objeto en efecto es anterior al descubrimiento del aluminio

El aluminio no fue trabajado por la humanidad hasta 200 años atrás —fue aislado por primera vez en 1825 por el físico danés H. C. Oersted—, por lo que el descubrimiento de la pieza de metal con una antigüedad milenaria ha sido considerado como extraordinario por los

investigadores rumanos. «Los análisis de laboratorio concluyeron que se trata del fragmento de un antiguo OVNI, pues la combinación de elementos que presenta es imposible de lograr con la tecnología disponible en nuestro planeta», declaró Gheorghe Cohan, subdirector de la Asociación de Ufólogos de Rumania, a los medios locales.



Figura 11.4. Publicación del evento en 1995

El historiador local Mihai Wittenberger afirma que, lejos de tratarse de un «oopart» (acrónimo en inglés de ‘out of place artifact’), en realidad la pieza de metal pertenece a un avión alemán de la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, Cohan sostiene que el académico está omitiendo adrede la datación del objeto para encajarlo a la fuerza en una época donde puede explicarse como obra del hombre moderno. El controvertido objeto de metal se encuentra actualmente en exhibición en el Museo de Historia de Cluj-Napoca, el rótulo que lo acompaña dice: «origen todavía desconocido».

BIBLIOGRAFÍA

1. http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/413_cienciorama.pdf
2. <http://www.historialuniversal.com/2009/05/edad-metales-cobre-bronce-hierro.html>
3. <https://es.wikipedia.org/wiki/Arrabio>
4. Los Orígenes de la Industria Siderúrgica Mexicana. Continuidades Y Cambios Tecnológicos en el Siglo XIX. Gerardo Sánchez Díaz. Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
5. <http://www.arquitecturaenacero.org/historia/equipamiento/la-torre-eiffel>
6. <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9801/Felkins-9801.html>
7. <https://naukas.com/2012/04/14/la-ciencia-del-titanic/>
8. <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/11/26/el-descubrimiento-del-columbio-perdon-del-niobio/> Publicado por Jose Varela
9. <https://supercurioso.es/wp-content/uploads/2014/06/iron-pillar-india-oxido.jpg>
10. <https://www.elpensante.com/el-hierro-que-nunca-se-corroe-el-pilar-de-delhi/>
11. <http://devenirdelaciencia.blogspot.com/2015/11/del-pancromo-al-vanadio-homenaje-andres.html>
12. <http://www.heurema.com/Origenes33.htm>
13. <http://mysteryplanet.com.ar/site/misteriosa-pieza-de-aluminio-de-250-000-anos-prueba-de-antiguos-astronautas/>
14. http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m3/acero%20en%20mexico.pdf
15. http://ireneu.blogspot.mx/p/blog-page_9.html