



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ARQUITECTURA TÉCNICA TRABAJO DE FINAL DE GRADO

FORJA EN EL SIGLO XXI

Projectista: Yaiza Garcia Galera

Directores: Joaquín Montón / Toni Pidemunt

Convocatoria:

RESUMEN

En este trabajo haremos un recorrido histórico por la cultura del hierro, estudiando la forma de trabajarlo desde su aparición . Como objetivo principal se pretende destacar el papel que ocupa dentro del sector de la edificación. Motivado por el desconocimiento respecto a su manipulación y trato a nivel técnico.

Igual que estudiamos como hemos llegado a trabajar con materiales cerámicos, elementos de cerramiento o tipos de envolvente para edificaciones, considero que también resultaría interesante conocer las metodologías de trabajo en elementos metálicos destinados a ornamentación y de protección, especialmente ahora que nos llega el momento de recuperar y conservar las edificaciones existentes.

La aplicación de este tipo de actuaciones se realizan en edificaciones con carácter monumental por lo que considero que hay que establecer un vínculo entre profesionales, que son los que ejecutan el trabajo y técnicos, que serán los responsables de que este se ejecute correctamente.

El texto está redactado de manera que la información que se aporta complementa perfectamente los conocimientos de ambos sectores, siendo apto para técnicos cualificados, a los que les puede resultar interesantes ver las técnicas, posibilidades y acabados posibles para el material, ya que si se tiene consciencia de las posibilidades es más fácil planificar y redactar un proyecto en el que se incluyen este tipo de elementos; y para los herreros ya que se plantea de forma simple y acompañada de ejemplos prácticos , el por qué científico de los conocimientos que ellos ya sabían por la experiencia y tal vez la manera de evitar complicaciones en el trabajo.

Plasmando el comportamiento del material derivado de algunos de los procesos térmicos y de fatiga a los que es sometido el material. Los resultados de estos puede jugar a favor o en contra a la hora de dar forma los elementos. Por eso es interesante que lo tengan en cuenta ya que les puede evitar sorpresas.

Analizaremos el material para comprender su comportamiento bajo diferentes temperaturas y condiciones. Hablaremos de cómo se reordenan las fibras del material y cambia sus propiedades así como la manera de revertirlas.

Procederemos a analizar la fabricación del material desde la combustión de las materias primas, pasando por las distintas variedades alotrópicas que presenta el material derivadas de su exposición a temperatura elevadas y cómo trabajarlas para obtener los distintos productos férricos que se conocen hoy en día.

Conoceremos donde nació el reconocimiento a la cultura del hierro y como los avances tecnológicos han afectado al sector.

Veremos qué papel jugó el hierro en las primeras edificaciones y como fue un protagonista silencioso en el modernismo catalán.

Hablaremos de acabados y de cómo atacar sus patologías a la vez que comentaremos métodos para su correcto mantenimiento.

Por últimos veremos un ejemplo práctico de la obtención de materia prima de un horno de reducción primitivo.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

2 NUCLIO DE LA MEMORIA

2.1 INTRODUCCIÓN AL MATERIAL Y SUS CARACTERÍSTICAS.

2.2 PRIMERAS FRAGUAS Y MÉTODOS DE TRABAJO

2.3 APARICIÓN DE LOS PRIMEROS HORNOS PARA OBTENER EL MATERIAL

2.4 REVOLUCIÓN DEL HIERRO Y SUS APLICACIONES EN CONSTRUCCIÓN

2.5 PAPEL DE LA HERRERIA EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

2.6 PAPEL DE LA FORJA EN EL MODERNISMO

2.7 COMO SE ADAPTA LA FORJA A LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

2.8 TRABAJOS EN REHABILITACIONES Y METODOS DE ACABADOS

2.9 PRACTICA RECONSTRUCCIÓN DE UN HORNO

3 CONCLUSIONES

4 BIBLIOGRAFIA

5 AGRADECIMIENTOS

1. INTRODUCCIÓN

Para entender la importancia que tiene la forja en el siglo XXI debemos empezar introduciendo las características del material principal el hierro ya que sin entender estas nos será imposible entender los métodos de trabajo.

Remontándonos a las primeras apariciones del material mediante fuentes arqueológicas y poniéndonos en la piel de las dificultades que fueron apareciendo veremos cómo las sociedades influyen directamente en la evolución del trabajo.

Este recorrido histórico nos obliga a hacer parada en las primeras fraguas y a investigar cómo fue a obtención de la materia prima.

En edificación el hierro juega un papel fundamental y en este trabajo veremos como la primera aparición del hierro con un papel puramente estructural dista mucho de la que encontramos hoy en día.

La arquitectura fue evolucionando y pronto tomaremos conciencia de la importancia de la protección, el hierro se usara para proteger nuestros hogares de posibles intrusos así como de evitar las caídas a diferente altura.

La forja será el elemento protagonista para protección de balcones.

Jugara un papel fundamental en el modernismo, constituyendo el alma del modernismo catalán, siendo el hierro producto estrella para el reciclaje.

Veremos cómo Gaudí fue un gran conocedor de la técnica y cómo y por qué nos han llegado esas piezas tan maravillosas.

Con la industrialización y los avances tecnológicos en maquinaria la forja cambiara totalmente, distando mucho de sus primeras apariciones.

A día de hoy la forja sigue viva ya que aun hay artesanos que conserva las técnicas, y serán estos artesanos los que jugaran un papel fundamental en el campo de la rehabilitación ya que tras tantos años de utilización del material nuestro patrimonio requiere de ellos para ser conservado.

Para esto veremos los puntos fundamentales en los que deberemos fijarnos para hacer una buena rehabilitación y conservar lo que viene perdurando durante años.

Una de las partes primordiales para una buena intervención es conocer las técnicas y sobretodo posibilidades del material, por eso este trabajo pretende abrir la puerta a una parte tan importante de la rehabilitación en edificación, para que los técnicos que se forman a día de hoy puedan realizar unas intervenciones con criterio.

2. NUCLIO DE LA MEMORIA

5.1 INTRODUCCIÓN AL MATERIAL Y SUS CARACTERISTICAS.

Se entiende como forja el arte de dar forma al hierro a partir del repetido golpeo del material, normalmente con el material caliente, en una temperatura de entre 500 y 1100°C.

El primer paso para trabajar es conocer el material, por lo que a continuación estudiaremos el material, deteniéndonos en los puntos mas significativos, todos aquellos que nos puedan condicionar la manipulación de este.

En la naturaleza podemos distinguir entre 4 variedades alotrópicas diferentes de hierro puro (Fe) que tiene un punto de fusión de 1539°C

Que optemos desde anteaños con la fundición de un mineral conocido como **Hematites Parda** o **Limonita**, que junto con la **hematites roja**, es uno de los componentes en forma mineral de los que se puede obtener el hierro, que se pueden encontrar en la península.. Este mineral se presenta en masas fibrosas compactas y muy duras, o en masas terrosas que contienen generalmente sulfuros de hierro y de plomo. La hematites roja contiene un % más elevado de hierro, entre el 40 y 60% pero no se encuentra en tanta abundancia como la hematites parda.

Encontramos Hierro (Fe) en los siguientes minerales:

<i>Hematites:</i>	Fe_2O_3	⑦óxido
<i>Magnetita:</i>	Fe_3O_4	⑦óxido
<i>Limonita:</i>	$FeO(OH) \cdot nH_2O$	⑦hidróxido
<i>Goethita:</i>	$\alpha \cdot FeO(OH)$	⑦oxihidróxido
<i>Hierro de los pantanos</i>		⑦limonita
<i>Siderita:</i>	$FeCO_3$	⑦carbonato
<i>Pirita:</i>	FeS_2	⑦sulfuro

El **hierro α** , es una variedad estable por debajo de los 768°C. Destaca por ser muy magnético y no disuelve muy bien el carbono, cuando lo hace es en proporciones muy pequeñas.

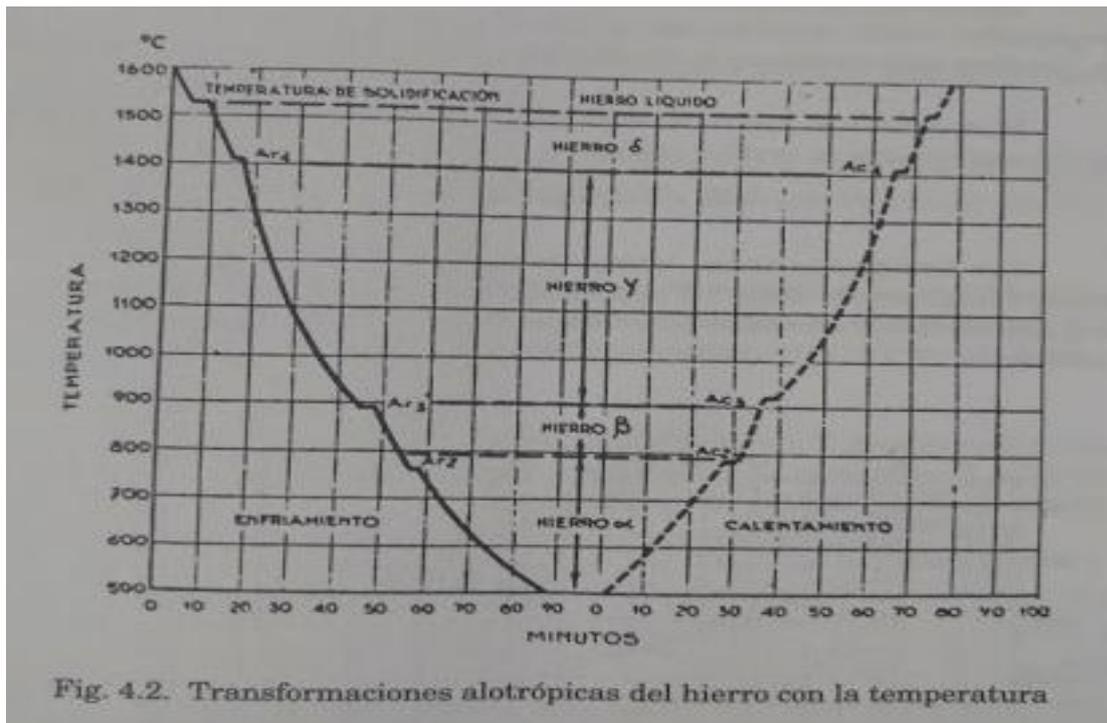
El **hierro β** es estable entre los 768° y 910°C y cristaliza, como el anterior, en el sistema cúbico. No es magnético y tiene la propiedad de disolver el carbono, aunque en proporciones limitadas.

El **hierro γ** es otra variedad no magnéticos que cristaliza en el sistema cubico y es estable a temperaturas superiores a 910°C, Puede disolver carbono en proporciones de hasta el 2%.

El **hierro δ** fue descubierto en 1888 por Newal y Tomlinson, esta variedad de hierro es estable por encima de los 1400°C, el cual es débilmente magnético y cristaliza en el sistema cubico.

Observamos la figura 1.1 que la variedad del material puede mutar según las temperaturas a las que se someta.

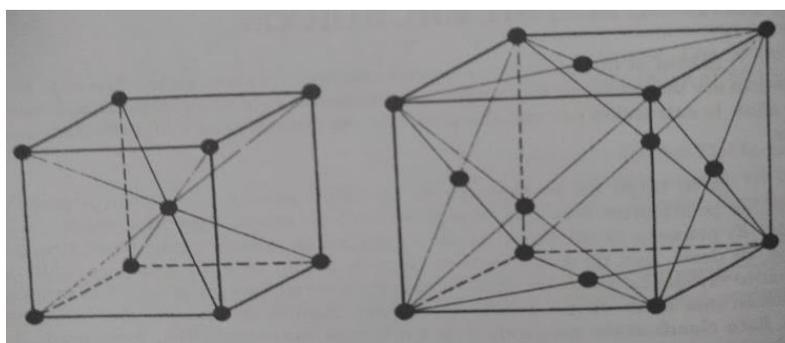
Conociendo la capacidad de absorber el carbono de cada variedad, y la capacidad para cambiar de tipo tras ser sometida a determinadas temperaturas durante un periodo de tiempo, podemos afirmar que de una primera fundición de materia prima podemos obtener acero. Por lo que trabajamos con acero y no con hierro ya que el contenido en carbono del material será superior al 0.02%.



(Figura 1.1)

El hierro presenta diferente estructura según las temperaturas a las que se expone. Como podremos observar en el siguiente gráfico.

Para comprender cómo se combina el carbono con el hierro, debemos observar la figura 1.2 en la que apreciamos un esquema en el que se representa la cristalización en sistema cúbico.



(Figura 1.2)

A la izquierda encontramos representado la cristalización de los **hierros α , β y δ** . Estas variedades adoptan la disposición de cubos centrados. A la derecha encontramos el **hierro γ** , cuya cristalización se presenta en forma de cubos de caras centradas.

En temperaturas superiores a 900°C el material se combina con el carbono y se vuelve austenita que es la solución sólida de la cementita que se haya en el hierro tipo γ . Su estructura es tan sencilla como la del hierro pero se vuelve más dura. A mayor temperatura mayor plasticidad del material. A partir del fraguado del material, entendiéndose como fraguado el número de caldas que se le da a un hierro, este va tomando más dureza, por el incremento de carbono en su estructura. El repetido golpeo del material favorece la reordenación de las fibras lo que también afectará a las capacidades mecánicas del mismo. En la Figura 1.3 se aprecia una la alineación propia que toman las fibras después de ser golpeadas.

El incremento de carbono se da al someterlo a temperaturas superiores a 910° , donde dejaremos de hablar de hierro para considerarlo acero, su cristalización es significativamente diferente a la anterior como podemos apreciar en la Figura 1.4 . El material alcanzara su punto de absorción natural máximo a los 1100°C . A partir de 0,45 % de carbono deberemos proteger el material ya que es en este punto donde consideraremos que el material tiene un alto contenido en carbono. Para conseguir que se quede atrapado el máximo % de carbono en el material deberemos someterlo a un enfriamiento brusco y rápido, lo que se conoce en el gremio como **Temple**. Con este tratamiento podremos conseguir que el material absorba de manera natural hasta un 1,4%. Esta absorción de carbono influirá en las características mecánicas del material, tornándose más duro y como consecuencia frágil, mermando considerablemente su elasticidad y un punto de rotura menor en su estado plástico.

El temple es un tratamiento que no siempre juega a favor de los herreros, como ya hemos visto este incremento de dureza se traduce también a un incremento de la fragilidad (disminuye su estado plástico en frío) Lo que puede significar una rotura de la pieza si no se trabaja a temperatura adecuada. Ambas fotografías extraídas del libro de A. Alaman , materiales metálicos.

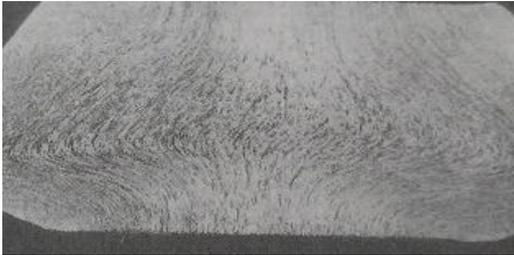


Figura 1.3



Figura 1.4

Así pues, el hierro se transforma y cambia sus propiedades según se combina con el carbono. En el siguiente esquema observaremos los cambios a diferentes temperaturas

La exposición al calor, tiempo de exposición y velocidad de enfriamiento nos afectará directamente al material, ya que se formaran subproductos. Podremos apreciar estos subproductos por la apariencia del material en su estructura cristalina .

A continuación observaremos un gráfico de temperaturas y % de carbono en el material, situando en esta los subproductos, entendiendo las condiciones concretas que los generan. Figura 1.5 Diagrama Fig 1.5 del libro de A. Alamán , materiales metálicos.

Observamos unos subproductos derivados de la exposición al calor y a el contenido en carbono. Pero qué quieren decir estos subproductos y qué relación tienen con el comportamiento del material? Podemos saber la historia de un hierro?

Los subproductos principales son los siguientes:

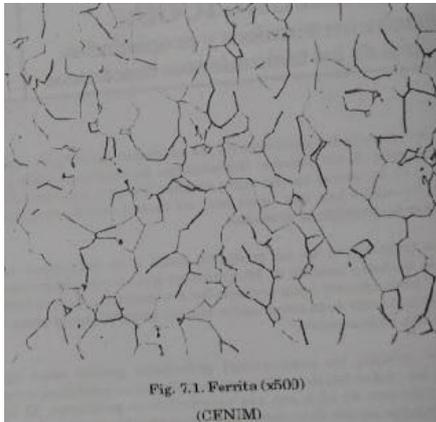


Figura 1.6

Ferrita disolución de carbono en hierro tipo α o β correspondiendo a cada uno, α y β . Se puede distinguir porque al microscopio aparece en forma de cristales poliédricos. (Fig 1.6)

Su componente más blando es 90 brinnell, y se caracteriza por ser dúctil y magnético, con una resistencia a tracción de 350 N/mm² y un alargamiento del 35%.

Cementita carburo de hierro (Fe₃C), es el constituyente más duro de los productos siderúrgicos. Su dureza es de 68 rockwell C , aunque no llega a rayar al cuarzo. Su imagen al microscopio se caracteriza por sus cristales en forma de paralelepípedos ortorrómbicos. La cementita es la forma en la que encontramos el carbono en los productos siderúrgicos excepto en algunos productos de fundición como puede ser las fundiciones grises, donde parte del carbono se desprende y aparece en forma de grafito.

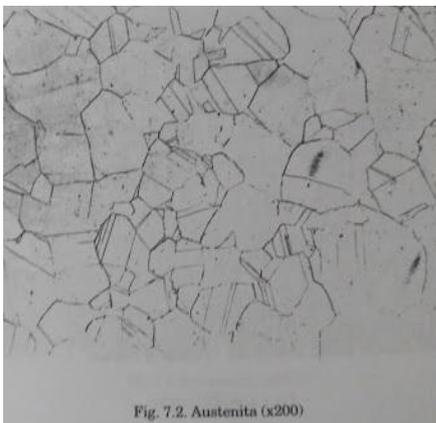


Figura 1.7

Austenita es una solución sólida de carbono de hierro γ . La cantidad de carbono que puede disolver depende de la temperatura, siendo el 2% el máximo. Permaneciendo siempre por debajo de la temperatura crítica A₃ se transforma rápidamente en los constituyentes correspondientes.

Mediante enfriamientos muy bruscos pueden formarse estructuras austeníticas.

Al microscopio se presenta como grandes cristales de forma poliédrica. (Fig 1.7)

Es un subproducto blando (300 brinnell), dúctil, tenaz y poco magnético. Su resistencia a la tracción oscila entre los 900 y 1050 N/mm² con un alargamiento comprendido entre el 20 y el 23%. Es muy densa y resistente al desgaste.

Perlita la perlita tiene aproximadamente el 0,8 %de carbono. Sus cristales están formados por capas alternativas de hierro α y cementita (fig.1.8) La dureza de la perlita depende de la velocidad de enfriamiento. Con un enfriamiento lento esta dureza es del orden de 200 Brinnell y el espesor de sus capas es considerable. Si la velocidad de enfriamiento aumenta también lo hace la dureza, hasta unos 300 Brinnell. La velocidad de enfriado afecta directamente al espesor de las capas que forma este subproducto, tornándose más finas a mayor velocidad de enfriamiento. A este proceso se le denomina en forja acerar el hierro o dar temple.



Fig 7.3. Perlita (x500)
(CENIM)

Figura 1.8

Por debajo de los 700°C solo obtenemos cementita, perlita y ferrita. Pero si se calientan por encima de esta temperatura y se enfría rápidamente por debajo de los 700°C aparecen la martensita, la troostita, sorbita y la bainita.



Fig 7.4. Martensita (x500)
(CENIM)

Figura 1.9

Martensita es una solución sólida sobresaturada de hierro α , es el principal constituyente de los aceros y el contenido en carbono puede elevarse hasta el 1%. Su dureza es un poco inferior a la de la cementita, dependiendo del contenido en carbono será de entre 50 y 68 Rockwell, correspondiéndose el más elevado al 1% de contenido en carbono. Su alta dureza se traduce en fragilidad, donde la medición de su resistencia oscila entre 1700 N/mm² y 2500 N/mm². Su alargamiento será de entre 2.5 y el 0.5%. La podemos identificar al microscopio porque se presenta en aguas con ángulos agudos de 60°.Martensita α . (Fig 1.9)Si se calienta por debajo de 250°C se transforma en martensita β .

Dependiendo de la velocidad de enfriamiento obtenemos los siguientes productos:

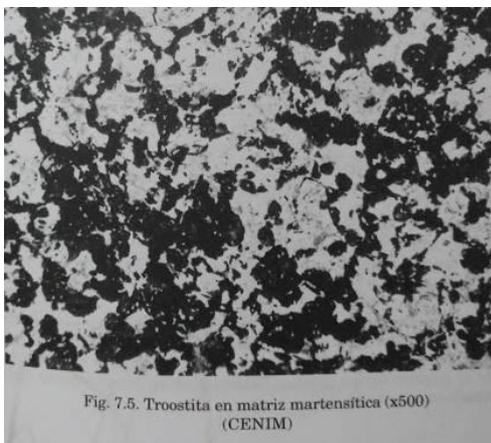


Fig. 7.5. Troostita en matriz martensítica (x500)
(CENIM)

Figura 1.10

Troostita cuando la velocidad de enfriamiento es ligeramente inferior para obtener martensita. Que se compone de cementita y hierro α . Se reconoce al microscopio por sus flóculos de forma redondeada. (Fig 1.10) Tiene una dureza entre 400-500 brinnell.



Figura 1.11

Sorbita aparece en los aceros que han sido tratados térmicamente para aliviar sus tensiones interiores. Elevándolas a 400°C y dejándolo enfriar lentamente. Para conseguir un producto más blando se debe calentar entre 400 y 700°C. La refrigeración se producirá de manera más lenta que la anterior, apareciendo la sorbita o martensita revenida. Tiene una dureza de 250-400 Brinnell. (Fig 1.11).

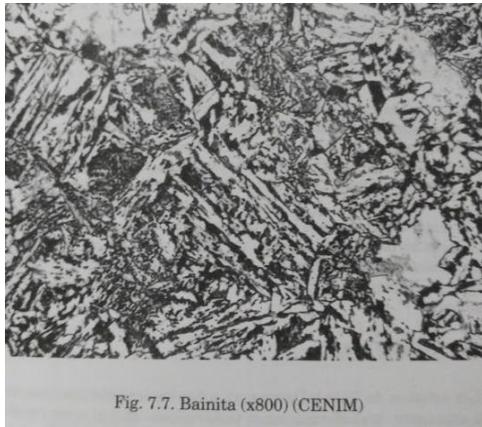


Figura 1.12

Bainita es uno de los componentes de los últimos aceros descubiertos, al microscopio se presenta en formas arborescentes que recuerdan a la martensita. (Fig 1.12) Se consideran el mismo producto con apariencia distinta.

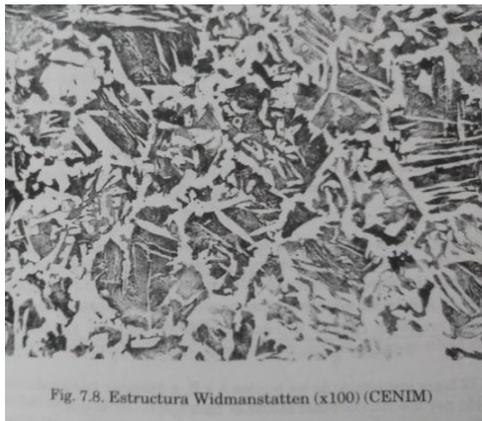


Figura 1.13

Estructura Widmanstätten es un claro ejemplo de que los subproductos pueden presentarse con formas distintas. En este caso la ferrita precipita y se presenta en forma de agujas concéntricas hacia el interior de los granos. Esta estructura aparece producto de la colada del acero. Y para devolverla a su cristalización convencional es necesario someterlo a tratamientos térmicos. (Fig 1.13)

Para orientarnos en los tipos de durezas que vienen ligados a los anteriores productos podemos consultar tablas de equivalencias:

	BRINNELL	ROCKWELL
FERRITA:	90	4.34
CEMENTITA	722	68
AUSENTITA	300	31,81
PERLITA	200-300	14.53-31.81
MARTENSITA	486-722	50-68

Una vez conocemos los subproductos derivados de someter el hierro a diferente temperatura y somos capaces de comprender que las características mecánicas adquiridas durante la manipulación del material nos influenciarán directamente en el comportamiento de este. Conocerlas será un factor clave para el dominio de las técnicas.

Así pues para trabajar el material no solo influye el tipo de hierro , como hemos visto con anterioridad, su porcentaje en carbono y los subproductos formados durante la manipulación le aporta al material características diversas. Por lo tanto podemos afirmar que las capacidades mecánicas se ven condicionadas por el tratamiento térmico e historia del material.

Un metal muy trabajado reaccionara diferente a un metal no trabajado, este fenómeno se denomina **fatiga**, frente a esfuerzos exteriores el metal reaccionara diferente si se trata de un esfuerzo puntual o un esfuerzo que se repite un número determinado de veces, con la misma magnitud de fuerza el material sometido a un número de ciclos N se deformara o incluso llegara a romperse más fácil mente Así pues la deformación dependerá del número de ciclos y no tanto de la magnitud de la fuerza. Es por eso que es muy habitual ver a más de un herrero golpeando un mismo hierro simultáneamente, normalmente hierros de dimensiones considerables. En esta acción el maestro suele llevar un martillo notablemente más pequeño que el de los aprendices para indicar dónde deben golpear el material así como para marcar el ritmo de golpeo. Otro claro ejemplo es el martinete, esta máquina nos proporciona una frecuencia de golpeo considerable.

Otros factores que nos condicionan la deformabilidad del material son:

- **Elasticidad** es la capacidad para deformarse sin que se rompan los enlaces atómicos, volviendo al estado inicial tan pronto cesa la carga. La elasticidad del material dependerá de los tratamientos térmicos y mecánicos a los que haya sido sometido.

-**Plasticidad** es la aptitud para sufrir deformaciones permanentes al cesar la carga. Esta capacidad dependerá de la temperatura a la que se encuentre el material. Dentro de la plasticidad distinguiremos entre la capacidad de deformación derivada del estirado que llamaremos ductilidad y la capacidad de deformación tras esfuerzos de compresión, maleabilidad.

-**Acritud** es la propiedad que influye en la resistencia a la deformación derivado de un exceso de esta. Se puede entender como la resistencia a ser deformado después de cierta deformación. A más deformación tendremos que aplicar mas fuerza. Esto está estrechamente relacionado con la reordenación de las fibras del material y aparición de tensiones internas tras ser sometido a un tratamiento mecánico.

-**Fragilidad** es la falta de elasticidad, cuando un material admite muy poca deformación antes de la rotura. Podemos decir pues, que la fragilidad es la inversa a la plasticidad.

-**Tenacidad** es la propiedad que se da de la combinación de resistencia y deformación.

-**Dureza** es la capacidad de un material para ser deformado superficialmente. Así pues la dureza se relaciona con la superficie del material. Podemos distinguir tipos de dureza: al rayado, que define la resistencia a ser rayado; a la penetración, la que nos indica la facilidad que tendrá otro cuerpo para hacer mella; dureza elástica relacionada con la reacción de otro cuerpo al chocar con el primero; al corte que refleja la oposición del material a permitir que otro lo penetre.

Para controlar y revertir las propiedades mecánicas del material derivadas de su historia recurrimos a los tratamientos térmicos.

Temple se da al enfriar el material rápidamente, este proceso hace que las partículas de carbono queden atrapadas dentro de la estructura del metal y le aporta dureza.

Pero como ya hemos visto la dureza suele ser sinónimo de fragilidad y acritud a la vez que denota una disminución considerable de maleabilidad y plasticidad del material lo que nos dificulta el trabajo.

No podemos volver al punto de partida en cuanto a características mecánicas pero si que podemos revertirlas parcialmente. Así como para “endurecer” debemos templar, para “ablandar” debemos recurrir al recocido y revenido del material. Encontramos diferentes maneras de proceder:

Recocido tiene por objetivo ablandar el material acerado para liberar las tensiones internas creadas por las repetidas exposiciones al calor. Este tratamiento se caracteriza por el enfriado lento del material que ha sido calentado previamente a temperatura superior o inferior a la crítica, según la finalidad del tratamiento:

Recocido de regeneración o recocido completo: ablanda el material acerado y reconstruye su estructura ha podido ser deformada por un tratamiento mecánico previo. Para este fin lo conveniente calentar el material a temperaturas superiores a la crítica. Con este proceso obtendremos un mayor porcentaje de perlita en el resultante del material sometido al proceso.

La dureza será mayor a mayor velocidad de enfriamiento y la tenacidad disminuye a mayor tamaño de los cristales obtenidos.

Recocido de ablandamiento calentándolo a temperatura ligeramente inferior a la crítica y enfriándose lentamente, se ablanda menos que con el recocido de regeneración.

Recocido contra acritud, se emplea para conferir ductilidad a los materiales forjados en frío, debido a que la ferrita se deforma de forma alargada. Para aliviar las tensiones se calentara la pieza a temperatura ligeramente inferior a la anterior y se enfriará al aire.

Para obtener un ablandamiento del material tendremos que calentarlo a un mínimo de 500 C, ya que las caldas por debajo de 300C, tienen el efecto contrario al fin esperado con el recocido, aportan dureza al material

Revenido se emplea en aceros ya templados, no requiere que se eleve el material a tanta temperatura como en el recocido, este se pondrá a una temperatura ligeramente inferior a la crítica y en ocasiones deberá protegerse la superficie del material para evitar que este pierda carbono.

Mejora las características aportadas por el temple, elimina parte de las tensiones internas sin perder la dureza del material. El enfriamiento será al aire o con aceite.

Según a la temperatura a la que sometamos el material se modificara. Afectara fundamentalmente a los subproductos como la martensita y la ausentita.



-250°C	Cambios en Martensita y la Ausentita se torna mas dura(ausentita revenida)
+250 °C	Aparece la Tosita
-400°C	Martensita se convierte en Torsita
+400°C	Aparece Bainita
+600°C	Martensita se convierte en Bainita

Como ya hemos visto la temperatura nos influye directamente en la estructura y composición del hierro dentro del cual consideraremos unos subproductos creados a partir de esta exposición.

5.2 PRIMERAS FRAGUAS Y METODOS DE TRABAJO

El Hierro y los primeros herreros íberos

La metalurgia del hierro

Para situarnos debemos hacer un recorrido por la historia, deteniéndose en las costumbres , métodos de trabajo y cultura , para entender porqué nace este arte y método de trabajo. En nuestro caso, la península ibérica. Esta búsqueda nos sitúa en el s.VIIIa.C., en esta época ocupaba la península la cultura Ibera..

Según el prestigioso arqueólogo alemán Hermanfrid Schubart (1990) la práctica metalúrgica del forjado del hierro entre los íberos, se produce con toda probabilidad en esa fecha.

Pero, el hierro no aparece verdaderamente hasta la llegada de los fenicios, que fueron los primeros introductores de este metal en la Península.

A pesar de todo, se defiende que la Península Ibérica, al igual que otras zonas del Sudoeste europeo, tiene una personalidad cultural propia, de fuerte tradición indígena aunque no deben descartarse influencias exteriores como las de grupos ultra pirenaicos (cultura de Hallstatt), y la colonización mediterránea griega y fenicia.

Actualmente hay evidencias que permiten fijar las primeras y esporádicas apariciones del hierro en un contexto pre-colonial, aunque la verdadera siderurgia local va ligada , siguiendo el planteamiento de Schubart, a los establecimientos fenicios. Este influjo será el más determinante para la formación de la Cultura Ibérica.



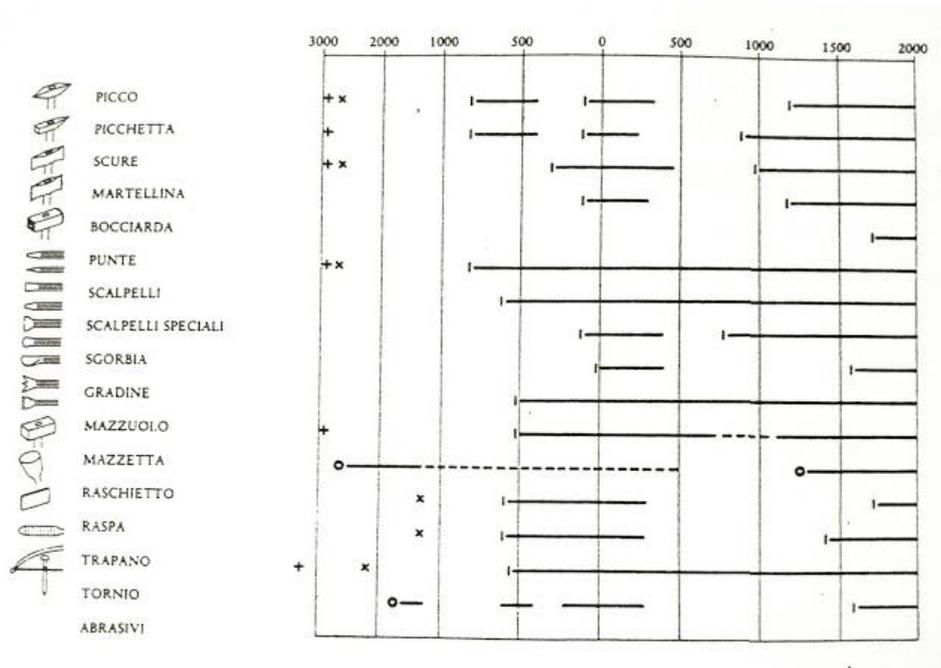
Paulatinamente los herreros supieron trabajar el hierro para producirlo de una manera económica. Diversos utensilios, objetos y armas de uso cotidiano se fabricarán con este metal, comenzando así, propiamente, la Edad del Hierro en la península Ibérica.

Pero independientemente de cómo fuera esta etapa de introducción del hierro, las grandes transformaciones respecto a la tradición cultural indígena desarrollada en el Bronce final son muy significativas.

Antecesor del hierro, hay estudios que indican que este se introdujo en Europa hacia el s.VI, VII aC. Sin embargo, la metalurgia del hierro en aquellas sociedades protohistóricas, aún a pesar de su importancia como actividad productiva social y económica, es poco conocida en el marco de la Cultura Ibérica.

Una de las evidencias más claras de metalurgia en la zona son los hallazgos de piedra trabajada, ya que para ello eran necesarias herramientas metálicas.

El arqueólogo Manuel Medarde nos ha cedido un esquema de dotación de herramientas halladas en diferentes yacimientos.



(Cuadro de las herramientas que se han encontrado en yacimientos con sus dataciones)
(imagen de los apuntes de Manuel Melarde,)

Los primeros restos hallados denotan los métodos de trabajo, vienen de la época de los iberos. Cuando trabajaban el metal, los **herrerros iberos** utilizaban un hierro muy puro y la forja en frío, Primeramente se fundía el material y se introducía en moldes y con un pequeño acabado de forja fría para reducir las rebabas y asperezas.

Podemos entender la fundición pues como el arte de dar forma al material llevándolo a su estado líquido y dejándolo endurecer en moldes con la forma deseada.

Endureciendo el metal en sentido longitudinal con pequeños golpes de martillo sobre la pieza sujeta por un **yunque**, por lo que lograban piezas que destacan por su alta dureza.

Los productos de forja fueron cambiando según cambian las necesidades de la población, como todos los productos artesanales, estos estaban motivados en un primer lugar por las demandas familiares, el entorno afecta directamente sobre el producto ya que marcará las necesidades y motivará la creación de productos útiles en el día a día.

Las armas y objetos de culto fueron las primeras piezas fabricadas en serie que surgieron en los talleres de forja. La demanda generada por una sociedad motivaba al herrero a fomentar la fabricación de su producto. La demanda constante dotaba al artesano de una importancia de peso en la sociedad ya que era el único capacitado para cubrir las necesidades de este. El oficio se transmitía de manera familiar, de padres a hijos y el secreto se cuidaba ya que proporcionaba a las familias más que un sustento, un estatus.

Para obtener las primeras piezas de hierro, primero se fundía el mineral de hierro, y el metal líquido se vaciaba en moldes de arcilla y encima se colocaba una piedra plana a modo de tapa, se abrían los moldes y se sacaba con ayuda de unas largas tenazas la pieza fundida y la remataban a golpe de martillo, reduciendo las rebabas y asperezas.

Así pues cabe destacar que con este nuevo material las técnicas de obtención y trabajo evolucionan respecto a las que se estaban utilizando con el cobre y bronce, por lo que hizo necesario el desarrollo de tecnologías más complejas y especializadas. Ya que las propiedades como la maleabilidad, dureza y temperatura de fundición eran diferentes, también los cambios y evolución en la sociedad marcaron la subida drástica de la demanda de productos.

Durante esta etapa se conseguiría un alto nivel de perfeccionamiento en los sistemas de fundición y una gran calidad de las piezas. Con la metalurgia del hierro surgieron nuevos artesanos y nuevos útiles. La organización de la actividad metalúrgica para esa producción especializada de bienes metálicos conllevó la demanda de mano de obra cualificada; fundidores, herreros y orfebres.

Derivado de la demanda de producto el proceso de producción fue cambiando, y empezaron a aparecer los especialistas, derivándose cada trabajo específico a una persona de manera que el resultado del conjunto fuera de la mejor calidad posible.

Los principales usos del hierro forjado se centraron en la fabricación de **herramientas agrícolas** (arados, hoces, rastrillos, horcas de tres garfios y palas) e instrumentos de **uso cotidiano**: pequeños objetos de adorno y utensilios caseros, como llaves, cuchillos, cerrojos, arderos, sierras, martillos, yunques, tijeras para esquilar el ganado y navajas de afeitar.

Pero sobre todo el hierro fue muy apreciado para forjar *escudos, cascos, y distintos tipos de armas*. Y entre estas, digamos que la más requerida en los talleres de fundición fue la **falcata o espada corta de los iberos**.

En los yacimientos iberos de la Torre dels Encantats (Arenys de Mar), al Puigcastellar , (Sta. Coloma Gramanet) y en el poblado ibérico de la villa romana de Sant Boi se encontró escorias de hierro , estos poblados se hallaban cerca de yacimientos del material, lo que nos confirma que la cultura del hierro ya estaba bastante consolidada, en esa época. El yacimiento más importante de la zona de Cataluña se encuentra sin duda en el pirineo de Lérida en la denominada Vallferrera.

Es sabido que la sociedad ha sufrido cambios constantes hasta llegar a nuestros tiempos pero el oficio de herrero es algo que hasta aproximadamente 1800 se ha mantenido generación tras generación. Se como casi todas las artesanías el secreto de la técnica se ha mantenido dentro de los clanes y con las evoluciones en la complejidad de los trabajos y los beneficios que han aportado las tecnologías, se ha ido puliendo.

Hacia mediados de 1800 empezaron a aparecer los centros de producción en serie.

En 1936 estalla la guerra civil española, los conflictos bélicos marcaran el destino de muchos miembros del gremio ya que estos serán requeridos a pie d batalla para reparar armamento, lo que mermara el número de artesanos que perecerán con el secreto de generaciones.

En el entorno rural se mantienen el oficio de maña, dado de la demanda de fabricación y reparación de útiles para el campo, este oficio se fue perdiendo poco a poco por la migración de la población a las ciudades y por una oferta de útiles de fabricación industrial con cuyos precios no se puede competir.

5.3 APARICION DE LOS PRIMEROS HORNOS PARA OBTENER EL MATERIAL

Obtención del hierro en los primeros hornos fue un proceso adaptado de los métodos de obtención y trabajo del bronce y cobre..Ya que el descubrimiento de este material esta muy ligado al trabajo de los antes mencionados.

El primitivo procedimiento de elaboración del hierro consistía en la calcinación del mineral a campo libre, utilizando grandes cantidades de carbón vegetal y leña.

Posteriormente se comenzaron a emplear troncos huecos de árboles recubiertos de arcilla y otras materias minerales, sustituidos luego por hornos de cal y canto de un metro de diámetro y dos o tres de altura, dentro de los cuales se disponían capas alternativas de mineral y carbón vegetal

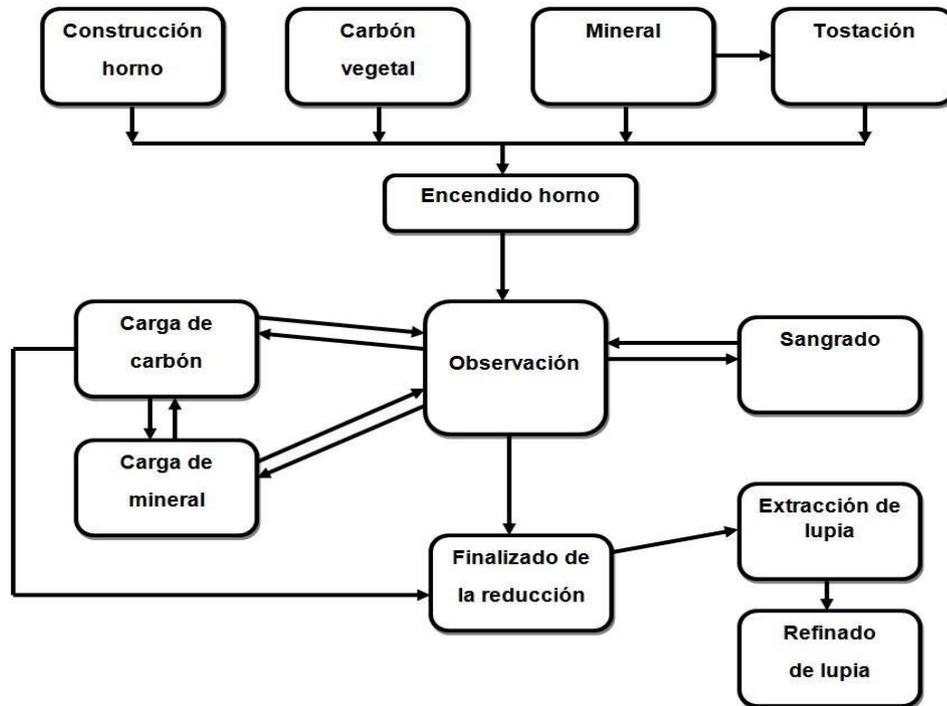


El horno quedaba totalmente cerrado, salvo un orificio por el que se inyectaba aire mediante fuelles movidos a mano o con los pies. El tiro se regulaba abriendo o taponando con arcilla orificios en la parte superior del horno. Las cenizas del mineral caían en una hoya denominada "arrago", "arragua". Estas instalaciones primitivas requerían gran cantidad de combustible: nueve sacos de carbón de roble, haya o encina, o una cantidad algo superior de carbón de castaño para obtener un quintal de hierro. Por ello, se hallaban normalmente en los montes, en las cercanías de algún bosque, aunque a veces alejadas de los yacimientos de mineral.



La técnica de obtención del material es relativamente sencilla, pero implica una dedicación y tiempo de preparación considerable. Dominar la técnica de producción así como el tamaño del mineral y el carbón que utilizaremos en nuestro proceso de reducción es fundamental.

Para guiarnos en nuestra investigación sobre hornos de reducción primitivos contamos con la ayuda del experto en la materia Thomas Mink . El cuadro que observamos a continuación nos ayudara a comprender la importancia de la experiencia para obtener resultado de la recreación de un horno de reducción.



Al proceder con el encendido del horno e iniciar la reducción del material , los productos del interior del horno sufrirán cambios químicos como observaremos a continuación.



Combustión carbón vegetal y formación CO:

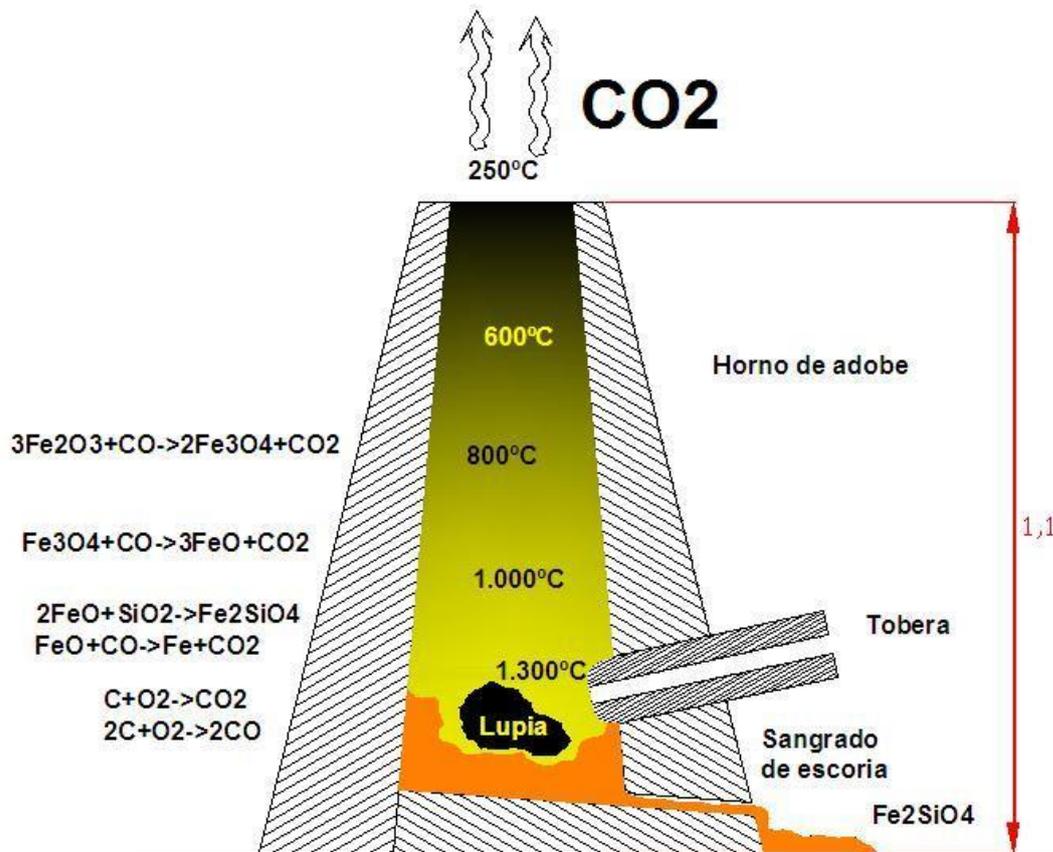


Reducción de los óxidos del Fe por el CO:

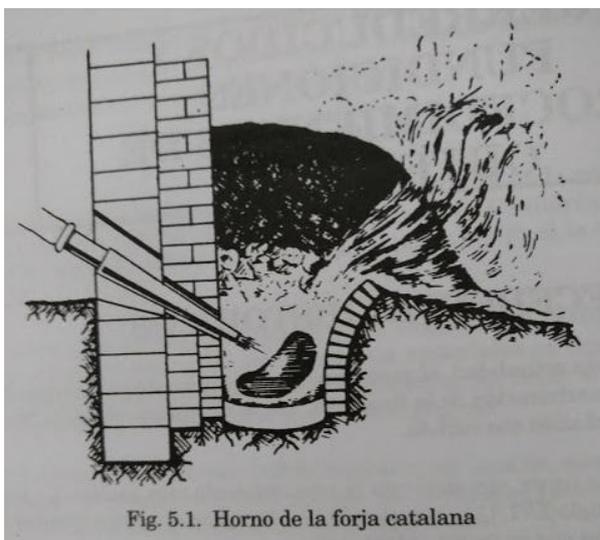


Formación de la escoria:





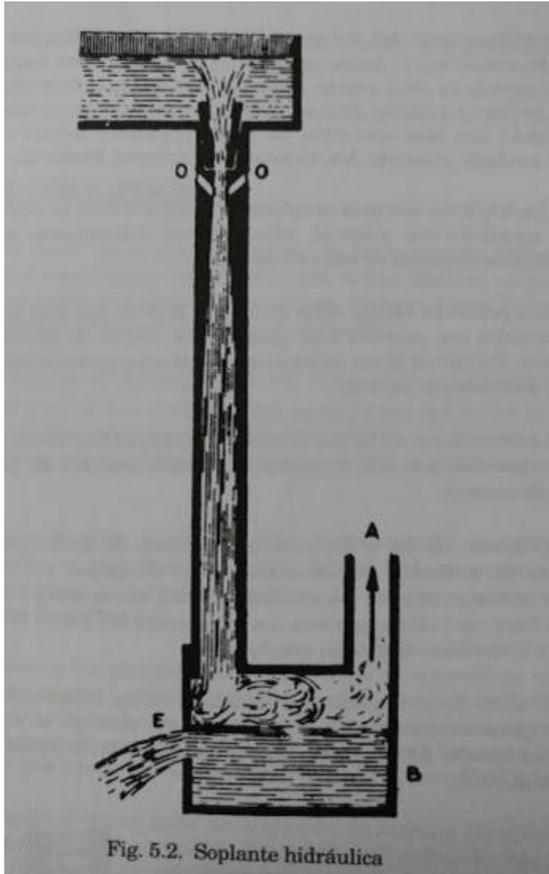
Las técnicas rudimentarias se fueron puliendo y no es hasta el s. XVI que se considera una industria metalúrgica. Con yacimientos arqueológicos de hornos de dimensiones de hasta 3 metros de altura. Excavados en rocas y cerrados por paredes de arcillas .



En la edad media se inicia la aplicación del tiro forzado lo que permite disminuir los hornos en altura. Es en este momento donde aparece el primer concepto de forja catalana, esta se ira perfeccionando con los años y no se consolidara hasta el s.XIX. Figura 5.1

(Ilustración Materiales Metálicos, Aurelio Almansa simón)

Figura 5.1



Estos hornos de reducción se construyen con un muro vertical frontal y una superficie ligeramente curvada en la parte frontal, cerrado por dos muros laterales donde se encuentran unos orificios para el drenaje de las escorias. La gran innovación de estas "forjas" es la manera de inyectar el aire para la combustión de mineral, hasta la fecha se había hecho mediante fuelles manuales. En este tipo de "forjas" la inyección se hace mediante una trovera que atraviesa el muro frontal llegando hasta el crisol donde se aloja el material y el aire insuflado proviene del efecto Venturi provocado por una caída en un conducto estrecho con orificios que permiten la entrada de aire (O), que debido a su energía potencial ganada por la caída empuja el aire a presión dentro del horno(A), mientras que el agua se evacua por la parte inferior(E). Figura 5.2

(Ilustración Materiales Metálicos, Aurelio Almansa simón)

Figura 5.2

5.4 REVOLUCION DEL HIERRO Y SUS APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Sobre el 1700 se empezó a trabajar con el hierro en cantidades suficientes como para poder introducirlo como estructura.

Podemos datar los primeros trabajos del hierro considerado sin carbono en el 1783 donde se podían encontrar cuatro tipos diferentes de hierros:

Hierro dulce: entre un 0,05 y un 0,2% de contenido de carbono. Es el hierro metálico en estado puro, muy maleable y dúctil, pero poco duró.

Hierro de Farga: También conocido como hierro colado o de fundición, Tiene un contenido muy elevado de carbono, sobre un 2,6% . Sus características lo hacen frágil y poco resistente a esfuerzos dinámicos. Se consigue con temperaturas superiores a 1535°C, a partir de hierro en estado líquido.

Acero: Contenido de carbono entre el 0,2 y el 2,5%. Tiene propiedades muy apreciadas por su uso, en industrias mecánicas y en construcción. Se considera un material duro, Resiste bien a la compresión, tracción, flexión y torsión, también hay que destacar su tenacidad: resistencia al desgaste y la capacidad de pulido. Mediante los tratamientos térmicos como el recocido, y el revenido, se puede variar su dureza y ductilidad, adaptándolo al uso que se le quiera dar.

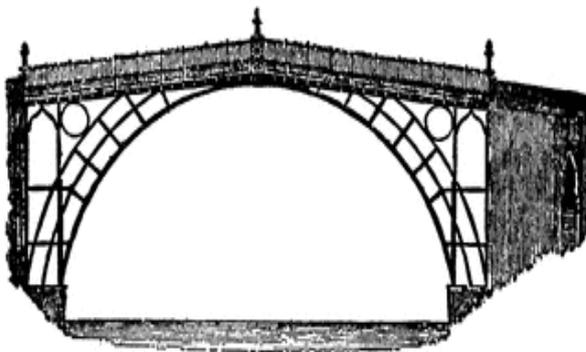
Los hierros con carbono aparecen sobre 1800, provenientes de Fundiciones , donde se trabajaba el hierro a partir de la fundición, se elevaba la temperatura hasta llevar el material a estado líquido, donde lo colaban y depositaban en moldes. De este trabajo se obtenía el hierro colado que se caracterizaba por su gran dureza y como consecuencia un aumento de su fragilidad pero tuvo mucha salida ya que era muy barato.

Es en esta época también que se conoce la manera de extraer el carbono del material obteniendo hierro pudelado con el que se empezaron a fabricar perfiles conformados.

Hacia 1900 apareció el convertidor Bessemer el que hizo posible combinar el material con oxígeno y obtener los primeros aceros.

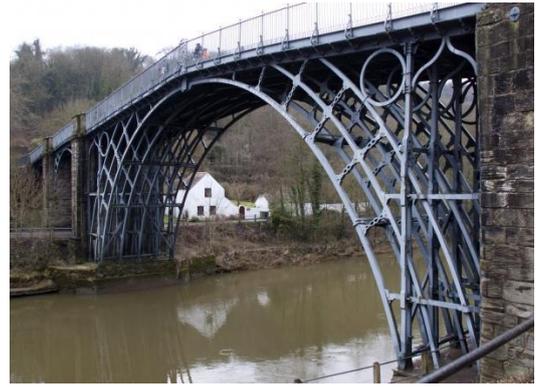
Una de las primeras obras arquitectónicas singulares del hierro fue el puente , de **coalbrookdale** (1777-1779) sobre el río Severn, diseñado por Pritchard,. No es de extrañar que la forma del nuevo puente de fundición fuera un **arco**: hasta entonces los puentes de piedra eran puentes arco. El estudio de los cambios de **tipología de los puentes** enseña que un nuevo material se expresa según formas tradicionales y no encuentra su nueva expresión formal hasta que ha pasado por una etapa experimental de transición.

Se decidió su construcción debido al excedente de material de las fábricas y se usó como elemento de máquetin para dar a conocer el material.



El puente consta de cinco nervios semicirculares de fundición. Los nervios se fundieron en los talleres Darby, situados muy cerca de la ubicación del puente. Cada nervio está formado por dos mitades de unos 21 m de longitud cada uno. Las piezas están unidas por pernos. Los tímpanos están aligerados mediante segmentos de arco, circunferencias y arcos connubiales.

Puede observarse el aspecto puntiagudo de la clave del arco que no llamó la atención por estar acostumbrados a los puentes de piedra con forma de "lomo de asno". Sin embargo, este efecto no fue buscado sino que, una vez terminado el puente, los estribos no eran lo suficientemente pesados para contrarrestar la presión del terreno y, como consecuencia, giraron ligeramente empujando la clave del arco un poco hacia arriba.



En la línea arquitectónica de este puente llama la atención que sigue la misma forma que seguían los puentes construidos hasta la fecha en piedra, se pueden observar dos aliviaderos, muy útiles y necesarios en las construcciones en piedra pero bastante absurdos constructivamente hablando, tratándose de una estructura metálica.

Hay que destacar también sus 30m de luz y el tipo de encajes, los que estuvieron inspirados en las uniones típicas de la madera, conocidas como uniones de carpintero

Así pues se trata de una obra de gran importancia histórica, ya que supuso el inicio de la llamada arquitectura del hierro.

Otro elemento clave en la transición del hierro es la **Biblioteca de Genevieve**, París. Esta estructura destaca por las columnas en hierro colado, lo que permitía una mayor esbeltez en estas para que en el interior hubiera el mínimo de sombra posible.

Esta fue la primera construcción de hierro con un proyecto ejecutivo detallado.



El siguiente paso en la arquitectura del hierro fue el modelaje de las edificaciones, un buen ejemplo es el invernadero construido en la gran exposición universal de Londres de 1851, Esta construcción media 500 m de longitud y sus columnas de hierro colado hacían de desagües para recoger las aguas de la cubierta.

Y es en este punto de la historia donde se abre el gran debate, hierro como ornamento o puramente estructural.

A finales del s.XIX se celebran en Barcelona cuatro exposiciones de artes industriales. Participan un buen número de artesanos nacionales y se presentan elementos decorativos muy diversos.

Curiosamente Concordi González y Ballarín, los herreros más próximos a Gaudí, arquitecto clave del modernismo catalán, no consta que participen de estas exposiciones.

En la primera exposición se celebró en 1891 y participaron sobretodo artesano españoles pero también algunos europeos.

La segunda se celebró en 1892, se presentaron más de 35 expositores, distribuidos en dos espacios de la Planta Baja del Palacio de Bellas Artes.

En la tercera, 1896 participaron 16 expositores, divididos en tres grupos: metalistería, cerrajería y fundición.

La última exposición fue en 1898, donde se presentaron 13 artesanos, De esta exposición cabe destacar la participación del cerrajero Manuel Ballarín, el fundidor Víctor Masriera y Pere Màrtir San Cristòfol como suplente del Jurado de Admisión para la exposición.

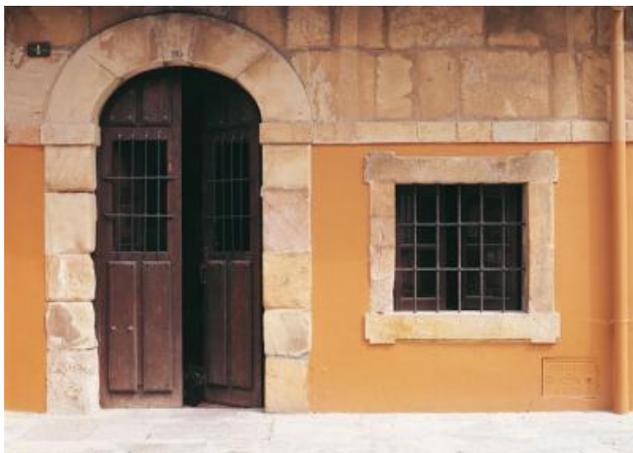
El modelado del hierro fundido nos acompañará hasta finales del 1900 siendo un recurso muy concurrido para los elementos de protección de las ventanas y balconeras, en muchos de los casos se combinarán con hierro forjado.



(Ejemplos de rejería de fundición, montada con remaches sobre soportaría de forja, Fotos tomadas en el barrio de la Barceloneta de Barcelona por Yaiza Garcia)

5.5 PAPEL DE LA HERRERIA EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

Aunque el uso del hierro es ancestral, la rejería española tuvo su mejor época a finales de la Edad Media y en el período gótico. A partir de los siglos XI y XII, la forja cobra fuerza como elemento arquitectónico, y después evoluciona hasta convertirse en un arte. Bajo el reinado de los Reyes Católicos las formas del gótico se funden con las del Renacimiento en el llamado estilo plateresco,



que fue el punto de partida para el arte de la rejería. Quedan bellos ejemplos de estas épocas en muchos pueblos de España. A finales del XVIII, el hierro forjado comenzó a sustituirse por el hierro colado, fuerte, duro y más barato. Sin embargo, era quebradizo, por lo que sólo se usaba en elementos que no soportaban golpes. En las casas rústicas se empleaba el tubo cuadrado, redondo o plano, formando rejas cuadriculadas o modelos simples de dos o tres barrotes, empotrados en dintel y antepecho.

El uso de rejas en ventanas y puertas responde principalmente a razones de seguridad, aunque en la arquitectura tradicional española es también un elemento decorativo. Así, en entornos rurales, la reja debe elegirse según el estilo de la casa y los usos locales. Básicamente están construidas con barrotes de hierro planos, cuadrados o redondos, soldados a un marco perimetral o empotrados en el muro. Se pueden hacer nuevas con hierro macizo, de fundición o con barrotes de tubo. Para un aspecto artesanal emplea piezas forjadas a mano. Una solución intermedia es usar tubos macizos o de fundición, y piezas o remates de forja.

En la arquitectura tradicional catalana pirenaica la pieza estrella es la **reja de espiga**, elaborada a partir de una pletina 100x5mm.

Esta es un claro ejemplo de las rejas que van empotradas desde el dintel hasta el vierteaguas de la ventana.

Su geometría permite cubrir el máximo de área con el mínimo material, impidiendo la entrada en la vivienda.

La manera de realizarla es sencilla ya que solo requiere unas caldas para cortar las espigas que sobresaldrá hacia los lados. Los cortes se realizan de manera longitudinal procurando que no coincidan los vértices de cada uno de los lados, manteniendo así la sección del alma central.

Con unas pocas más de caldas de abren las espigas, dándoles forma con la ayuda del lado redondeado del yunque.

El soporte se anclará con argamasa o mortero de cal, según la datación de la edificación

Pero como decía en la arquitectura tradicional española encontramos varios tipos de rejerías destinadas a la protección de las viviendas:

- **Reja interior:** Se puede construir con barrotes soldados a un marco, y recibirse al vano con grampas o espigas. Conviene amurarla antes de realizar el revoco. El sistema más simple es el de empotrar los barrotes directamente en el muro, siendo esta una solución eficaz para ventanucos. De todas formas, ambos sistemas son muy apropiados para rejas que no pueden sobresalir del muro.
- **Reja corredera:** Esta reja escamoteable va bien en muros dobles con cámara de aire. Hay modelos que incluyen un pre-marco donde se fija la cerradura.



- **Reja saliente:** Se trata de un marco con piezas perpendiculares y grampas que se amuran al paramento. Sirve tanto para casas populares como para arquitectura culta y religiosa. Son típicos los diseños castellanos y andaluces en forma de grilla cuadrangular o de cuadradillo, con hierros planos calados por los que se introducen los barrotes verticales, y remaches en forma de flor para la unión de barras. Pueden llevar cabezales con remates de hojas, esferas o cruces. Otro modelo saliente es la típica de Andalucía, una reja volada que apoya sobre repisas y se cierra por arriba con guardapolvos rematados con mortero o piezas cerámicas.

- **Rejas de postigos:** Se empotran en el cerco de la carpintería, aunque también pueden tomar la forma de una caja saliente o fijarse a ras del cerco con varillas pasantes o clavos. Las más elementales se construían con secciones redondas y hierros planos, y eran típicas de los pueblos de las dos Castillas.

- **Reja para puerta:** Puede ser batiente, corredera exterior o escamoteable (dentro del espesor del muro), o plegable.

- **Rejas para montantes:** Se colocan sobre las portadas de acceso, y suelen tener forma ortogonal o de arco. Estos portones abrían a un zaguán cubierto que sólo recibía luz por esta abertura. También son útiles en puertas de acceso.

Cancelas

Son puertas transparentes, con o sin cristal, que cierran zaguanes, patios interiores y puertas de entrada. En las cancelas se encuentran los diseños más trabajados de rejería española: barrotes torneados, macollas, volutas, hojas y rosetones. Las sencillas se diseñan con una grilla de unos 20 x 20 cm



- **Reja para mampostería:** La característica principal es que va empotrada su montaje se realiza a la vez que se constulle el muro que la soporta.

5.6 PAPEL DE LA FORJA EN EL MODERNISMO

Como hemos visto antes el máximo exponente del modernismo catalán es Antonio Gaudí. Como todos sabemos el estilo de Gaudí era un estilo puramente naturista, mediante los materiales puros, aquellos que se obtenían directamente de la naturaleza con una transformación mínima de su estado primitivo, construye esos diseños totalmente inspirados en las formas naturales, , playas, prados, montañas, árboles, plantas y otros animales.

Como gran amante de la naturaleza, intentaba cuidarla lo máximo posible y ya en aquellos años empleaba el concepto reciclaje, no es casualidad todos esos mosaicos de acabado, pues nacieron de la necesidad de aprovechar esas piezas cerámicas con acabado vidriado que se habían desperdiciado en otras obras a causa de su rotura o exceso.

También re-aprovechaba algunos ladrillos y pacholés despreciados por su tonalidad oscura casi negra a causa de un exceso de horneado en su producción, los que denominamos en construcción ladrillos de recoso. Que a parte de su coloración negra debida a un exceso de cocción, si no presentan otras patologías derivadas del exceso de cocción como la cristalización de sus fibras que provoca una pérdida notable de resistencia, tienen la particularidad de soportar hasta 1300 kg por centímetro cuadrado, mientras que los convencionales presentan una resistencia de 900kg7cm². Siempre que podía utilizaba este tipo y a poder ser que hubieran sido conformados mediante prensado ya presentan unas características isotrópicas que no están tan presentes en los extruidos. También se pueden encontrar en sus obras otros materiales recuperados, como pueden ser las escorias puzolánicas.

Todos ellos formando un conjunto armónico con el dulce encanto de la imperfección.

Como material reciclable estrella tenemos el hierro, un material que puede re-aprovecharse casi infinitamente, ya que mientras tengamos una fuente de calor le podremos aplicar la forma que queramos, se a base de trabajarlo en la fábrica o mediante el refundido.

Un buen ejemplo de reaprovechamiento de materiales metálicos es la reja de las vidrieras de la cripta de la colonia Güell.



Para entender el peso que tiene la forja en sus obras tenemos que remontar un par de generaciones en su árbol genealógico.

Lo cual nos sitúa en su Abuelo, forjador de profesión, su tío torsor y su padre batidor de cobre y no calderero como muchos han afirmado.

Así pues aprendió y convivió con el oficio desde niño, por lo que gracias a su gran conocimiento del material este jugará un papel muy importante en sus obras.

Conocía y dominaba las técnicas de trabajo, torsión y fusión del material, por lo que le resultaba muy sencillo pensar y aplicar diseños a sus obras. En todas y cada una de ellas los metales, jugarán un papel importante.



El conocimiento del material no solo es importante para el diseño sino que también juega un papel fundamental en la ejecución ya que de ello dependerá el acabado. Esto es algo que Gaudí tiene muy presente, así que se rodeará de una serie de equipos cuyos componentes están especializados en su materia, de manera que coexistan profesionales cada uno encargado de lo que podríamos llamar fases de obra, trabajando independientemente y coordinándose y apoyándose entre si, de manera que esta sectorización de las tareas al finalizar del proceso constructivo, se refleje en un acabado conjunto con una armonía notable.

Los hermanos Badia, Lluís y Josep, junto con Joan Oñós y Salvador Gabarro, eran componentes clave de su equipo de herreros, dentro de la herrería cada uno tenía una especialidad por lo que según el trabajo se le asignaba a un maestro o a otro. Trabajaron en equipo en diferentes obras como, el palacio Güell. Encargándose cada uno de la pieza que le había sido asignada, de manera que coexisten piezas que requieren técnicas muy diferentes destacándose todas por un acabado brillante.

En alguna de sus obras se puede encontrar trabajos de forja realizados por el propio Gaudí, como es el caso de los anclajes de las pilas bautismales de la cripta de la colonia Güell.



Cuando llegó la hora de ejecutar los soportes, los herreros no acababan de entender el que ni el cómo así que el propio Gaudí agarró un martillo y las realizó.

5.7 COMO SE ADAPTA LA FORJA A LAS NUEVAS TECNOLOGIAS

A pesar de entender la forja como algo puramente tradicional y rudimentario la industrialización cambió por completo la manera de trabajar. Desde la obtención del material hasta los tipos de acabados los cambios son muy significativos.

La obtención del material ya no se realiza en hornos tradicionales como los que analizamos anteriormente si no que se obtienen de las fábricas metalúrgicas, que le dan un trato algo diferente al material y por ello se comporta de manera diferente.

El re-aprovechamiento del hierro colado y recortes del hierro es el primer cambio que podemos denotar en el sector metalúrgico.

Dentro de todos los productos que se fabrican no merece la pena especialmente detenernos en los laminados en caliente ya que para la mayoría de trabajos se emplean cuadrados, redondos, pasamanos y ángulos.

El laminado en caliente consiste en comprimir mediante rodillos el metal desoxidado previamente mediante molado y calentándolo en hornos a una temperatura de entre (1050 y 1300)°C de manera que el material va cambiando de forma así como sus propiedades metalúrgicas debido a la repetida compresión del metal.

A partir de esta materia prima se subdivide el tipo de trabajo, por un lado tenemos la forja en caliente y en frío donde encontramos la técnica de estampación y la de forja que llamaremos tradicional, aunque como ya veremos dista bastante de serlo. Por último destacar la forja industrial.

La forja en frío, que dista mucho de la forja primitiva que como veremos en un primer momento también se realizó en frío. Esta técnica tiene menos posibilidades en cuanto a la forma resultante del material, se trata de ir forzando el estado plástico del material en frío hasta darle la forma deseada. Para evitar roturas la deformación será moderada y se tiene que hacer poco a poco ya que el estado plástico antes del punto de rotura es pequeño.

Aun teniendo cuidado en el trabajo siempre aparecen pequeñas fisuras en las superficies del material.



(Corazón de chapa realizado por Yaiza García, repujado en frío a partir de chapa de 2mm, Foto tomada por la autora)

Esta técnica se emplea sobre todo para el repujado de chapa, mediante repetido golpeo las fibras de la misma se agolpan mermando la sección y haciendo que las fibras se expandan, esta técnica nace de la calderería. El trabajo principal de este oficio era obtener recipientes cóncavos partiendo de una pieza plana, tradicionalmente de cobre. En las cazuelas antiguas podemos apreciar los golpes en forma circular girando alrededor del centro del recipiente

Un elemento muy recurrido en forja son los motivos florales, muchos de los cuales se pre-conforman partiendo de chapa plana previamente recortada. La primera forma se le suele dar en frío, esta técnica la conoceremos como embutir o embutido del material. Para obtener concavidad en el punto justo nos ayudamos del propio agujero del yunque o piezas realizadas por cada maña.

En ocasiones picando sobre hierro se nos marca y deforma partes de la pieza que no nos interesan, para evitarlo nos ayudaremos de piezas de madera que absorban el impacto de la pieza y deforme y comprima de manera uniforme. De esta manera se consigue una transición en la forma uniforme.



En ocasiones el repujado puede dar problemas ya que hay que tener muy claro donde se deben dar los golpes, Para guiarnos se usan tizas para marcar el hierro y no perdernos en el repetido golpeo.

(Corazón de chapa realizado por Yaiza Garcia, repujado en frio a partir de chapa de 2mm, Foto tomada por la autora)

Una de las técnicas a destacar en frio esa **técnica de estampación**, se trata de dar forma a las



piezas mediante prensas con moldes. Estos moldes pueden estar destinados a dar curvatura a las piezas o a gravar dibujos o formas determinados. Esta técnica se aplica al material en frio ya que aplicándose la fuerza mediante maquinaria quizás no es tan necesario tener el material tan blando. Para material de diámetro considerable o deformaciones notables se puede calentar el hierro. Como ya hemos visto el material caliente es mucho más plástico y deformable por lo que no correremos tanto riesgo a que este sufra fisuras superficiales.

(Maestro Miquel Xirau y Chago Martinez doblando un perfil laminado en frio, Foto tomada insitu por Ainhoa Martinez en Obradoiro Forxa Santiago de compostela)

Previamente conformada mediante fundido de material mineral, para poder juntar cantidad suficiente para trabajar con el. Una vez tenemos material suficiente lo recalentamos, hasta tener temperatura suficiente con el fin de que el material esté en estado plástico, para que sea lo suficientemente dúctil y maleable para trabajarlo.

Esta técnica nos limita a curvaturas, torsiones y estampaciones. Aprovechando al máximo las deformaciones que admite el material antes de llegar a su límite plástico. Se aplica en pletinas Comerciales conformadas. El golpeo del material está muy acotado ya que en estado frio el hierro es un material frágil y es fácil que aparezcan fisuras o incluso que se rompa la pieza.

Estas dos técnicas nacen de una primera fundición de minerales, que como ya hemos dicho nos proporcionan la materia primera. O como cualquier herrero te sabría indicar, se obtienen mediante la quema de tierras con un alto contenido en mineral de hierro aunque la realidad es que el 80% del material empleado proviene del reciclaje.

La forja por estampación en caliente consta de varias operaciones que tienen como finalidad la obtención de una forma maciza a través de la deformación metálica de un trozo de acero entre dos estampas, cada una de las cuales lleva grabada en relieve la semi-forma de la pieza a fabricar.

En el proceso pueden distinguirse cinco áreas productivas principales: Corte, calentamiento, forja, acabados y matricería.



(Foto tomada por Ainhoa Martínez, en obradoiro de Forxa en Santiago de Compostela)

Forja tradicional, como ya hemos visto puede definirse como el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica producida por presión o impacto. Esta operación realizada a alta temperatura produce una mayor calidad metalúrgica y mejora las propiedades mecánicas del producto final.

Hoy en día la forja puramente tradicional es inviable por un tema de esfuerzo y tiempo de mano de obra que se traduce en un coste muy elevado. Pero los herreros optan por hacer un mix de forja industrial y artesanal de esta manera abaratan el coste de producción y hacen el producto más accesible.

La Forja tradicionales el estilo de forjar el hierro más antiguo, es la manual, conocido también en el gremio como tradicional.

En los inicios se empleaba carbón vegetal para fundir el mineral y calentarlo cuando ya está conformado. A golpe de martillo, ayudados por un yunque y el calor de la fragua, se ponía el hierro al rojo vivo y se moldeaba. El hecho de golpear el material mejora la estructura del hierro, ya que el grano se refina haciéndolo más resistente a la fatiga y al impacto, mucho más que el hierro fundido.

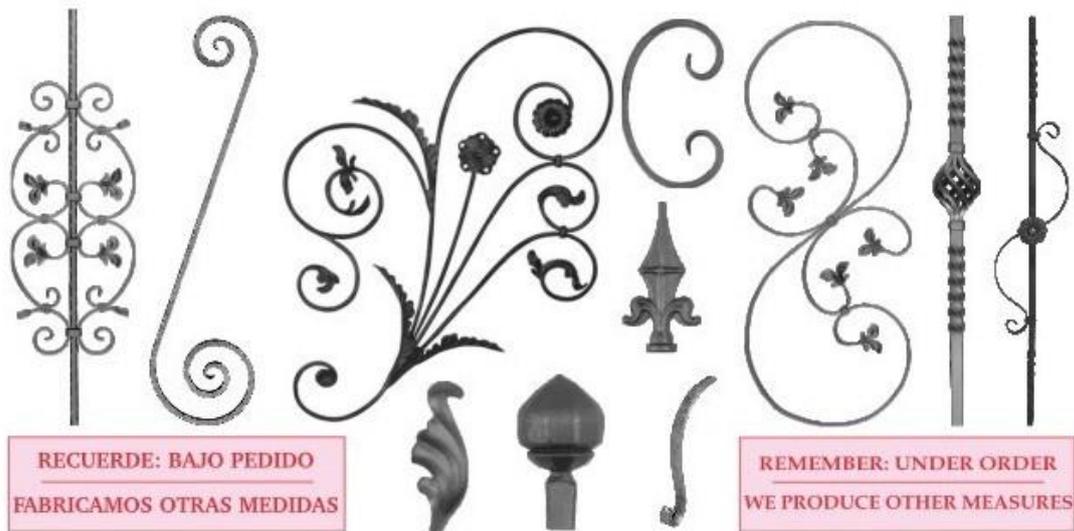
Or ultimo la **forja industrial**, esta técnica recurre mucho a la estampación en frío, es casi idéntica a la estampación en caliente, salvo que el material no se calienta antes de ser prensado, lo que reduce el coste de fabricación ya que no hay que cubrir el coste vinculado a la aportación de calor pero limita mucho más las posibilidades ya que el material a temperatura más baja es menos plástico y pueden aparecer fisuras al deformarlo.

En la primera operación de corte, el material de partida suministrado en barras y palanquillas, se divide en trozos (tacos) de longitud y peso adecuados.

Posteriormente se lleva a cabo el calentamiento del material para hacerlo más plástico. Se lleva a cabo en hornos de muy diversos tipos, empleando diferentes combustibles: H. de inducción, H. eléctricos de resistencia y H. de gas y fuel. La temperatura de calentamiento depende del tipo de acero variando entre 1.150-1.250 °C. Los hornos deben disponer de una buena regulación de temperatura para obtener un calentamiento controlado y homogéneo.

Partiendo de esta base el hierro se desplaza a traves de una serie de maquinas donde lo estamparan y tensionaran a la mínima temperatura necesaria evitando así perdida energética que se traducirá a un abaratamiento del coste del productos

Encontramos varios comerciales que ofrecen el producto de forja en frio, los productos más destacados son barras torsionadas y retorcidas en forma de espiral. La forja mecánica o industrial permite obtener elementos de calidad a precios competitivos. Está indicada sobre todo para diseños lineales.



(Portada de catalogo de Prefabricados metálicos taser SA)

Nos dispondremos a ver los productos que se obtienen con la forja tradicional industrializada, es decir productos tradicionales a los que llegamos ayudándonos de las nuevas tecnologías.

El forjado permite realizar gran variedad de formas:

El engrosado Se trata de golpear el material en una dirección longitudinal de manera que las fibras se compriman y se agrupan, dando espesor a la sección transversal del perfil, esta técnica mermara la longitud y aumentara su grosor.

La compresión (para reducir el diámetro de una pieza), aplanarla o darle una geometría cuadrada en caso de ser redondo el material base con el que trabajamos, o hacer redondo un perfil cuadrado. Con la compresión por golpeo puedes hacer de un macizo esponjoso cualquier geometría o **estirado**.



(Foto de Front Stef, colgada en su cuenta de instagram, de construcción de una herramienta de trabajo conformada mediante compresión y punzonamiento)



El curvado y plegado al ser una técnica menos agresiva en cuanto a traccionar y comprimir las fibras del material, se puede realizar en frío o en caliente. Sin olvidar que el límite plástico será inferior con el material frío. Por lo que tendremos que tener especial cuidado en las fibras traccionadas ya que es en estas donde pueden aparecer las fisuras.

También se hacen trenzados, enrolados y volutas, soldaduras mediante fundentes, uniones con remaches, ligaduras y abrazaderas, etc.

De todos estos trabajos hablaremos en profundidad más adelante, donde nos detendremos a analizar las técnicas de trabajo y las herramientas empleadas.

(Foto tomada por Ainhoa Martínez en Obradoiro de forja Santiago de Compostela, en ella se aprecia la escultura conjunta)

En la forja tradicional industrializada, en lugar de machos de fragua se emplean martillos y prensas mecánicas que golpean el hierro con fuerza y rapidez, obteniendo un grano muy fino con alta resistencia al impacto.

Así pues para elaborar las piezas se utilizan los máximos perfiles industriales y se unen con los trabajados a mano mediante "golpe de calda y martillo", mediante maquinarias modernas, como soldadores eléctricos.

Muchas veces realizar un trabajo de una sola pieza resultaba imposible por lo que los herreros buscaron la manera de unir diferentes piezas para formar un solo elemento. Las uniones se realizaban de manera mecánica con mecanos que encajaran entre sí, de manera que la técnica para realizar las uniones era la misma que se aplicaba a los trabajos de forma. La primera idea fue aprovechar la propia geometría de la pieza acabada para que las propias líneas del diseño propiciara la unión de la pieza, es un claro ejemplo la conocida reja del diablo, también se ingeniaron piezas independientes de sujeción e unión como los remaches y abrazaderas.



Los remaches se realizaban haciendo un orificio en cada pieza para unir, introducir una pequeña pieza metálica al rojo vivo y golpearla de manera que la parte exterior taponara el orificio de unión.

Estos orificios se realizaban con una herramienta denominada punzón para abrir el primer orificio y una vez abierto se ensanchaba hasta la medida deseada con la ayuda de un martillo de pico.

(Foto tomada por Yaiza García en el encuentro de Besalú, imagen correspondiente a la escultura realizada en homenaje a Gaudí)



Por otro lado tenemos **las abrazaderas**, estas se realizan con una barra plana acabada en pico para poder anclarla, estas piezas tienen que tener la longitud suficiente para abrazar los dos hierros a unir. Se realiza un orificio en una de las barras para anclar la pieza que abrazará los dos o más elementos a unir y en caliente se martillea de manera que la pieza quede enroscada bien ceñida a las piezas que se quieren unir.

La soldadura es la propiedad que tienen algunos materiales para unirse íntimamente hasta formar uno solo. Este método se puede llevar a cabo entre metales, valiéndose de las fuerzas interatómicas que establecen la cohesión entre átomos de las piezas que están en contacto.

(Foto tomada por Yaiza Garcia en el encuentro de Besalú, imagen correspondiente a pieza de la exposición)

Para llevar a cabo esta operación es necesario que las superficies estén muy limpias y el máximo de área en contacto. Con la aportación de una serie de materiales se facilita el trabajo.

La evolución de la soldadura está directamente relacionada con su historia, y no podemos hablar de la historia de la soldadura sin mencionar los aportes realizados por los antiguos metalúrgicos. Existen manuscritos que relatan trabajos hermosos sobre metales, realizados en la época de los faraones en Egipto, así como también en el imperio romano, donde ya se habían realizado algunos procesos, uno de estos es la forja.

Ahora bien, el desarrollo de la soldadura fue de la siguiente manera:

-Soldadura a calda: Actualmente olvidada, considerada el primer proceso original de unión de dos metales.

-Soldadura por gas: Históricamente la primera llama de alta temperatura fue la Oxi-Hidrógeno. El proceso se podría generar de tres distintas formas: Oxi-Hidrógeno, Oxígeno-Carbón-Gas y Aire-Hidrógeno.

El francés H. E. Chatelier, descubre en 1895 la combustión del oxígeno con el acetileno, de esta manera en 1903 la soldadura por llama Oxiacetilénica ya era utilizada industrialmente en Europa, y posteriormente en los Estados Unidos.

-Soldadura por arco eléctrico: En 1801, Sir H. Davy descubrió que podía generar un arco, entre dos terminales de un circuito eléctrico.

En los años 1880 y 1890 se desarrollaron muchas investigaciones sobre el arco eléctrico como fuente de calor para soldadura. Una de las primeras en tener éxito fue la de N. V. Benardos quien patentó la primera soldadora al arco en 1885. Mientras que Slavianoff es el primero en crear un electrodo (metálico) consumible, en 1892.

En 1910 el sueco Oscar Kjelberg produjo el primer electrodo recubierto, el cual mejoró notablemente la calidad de la metal soldado.

Entre los años 1930 - 1935 las operaciones con el proceso SMAW alcanzaron las áreas de infraestructura pesada; fue en aquellos tiempos que se construyeron los primeros barcos totalmente soldados tanto en USA como en Alemania.

Hoy día encontramos gran variedad de electrodos para diferentes aplicaciones tanto para construcción como también para reparación y recubrimientos duros, para utilizarse con o sin gas. El avance tecnológico ha llevado a optimizar y a derivar procesos, mas que a crear nuevos.



Soldadura por fusión: Antes de la aparición de las máquinas para soldar, la soldadura solo se podía realizar “a calda”, limpiando bien el material y calentándolo hasta la temperatura de fusión antes de sellarlo a “golpe de martillo”. Para este método es necesario que la superficie esté semi-fundida. Para fomentar la unión a menudo se usan una serie de productos.

Debido a que esto era un proceso muy complicado no era algo usual soldar las piezas, lo que complicaba mas el trabajo porque las figuras se debían sacar de un bloque compacto de material.

(Imagen web escuela de herreros Ramón Recuero)

Las tecnologías nos ayudaron a avanzar con el tipo de uniones, hacia el 1900 coincidiendo con la aparición de los hierros ricos en carbono aparecieron las tabletas para soldar y en 1930 se inventa el primer electrodo para soldadura con electrodo revestido o tíg.



Soldadura con tableta, es necesaria una superficie perfectamente limpia y que el material alcance una temperatura de 1000 grados.

Las tabletas se componen de calcita y una lamina metálica. La calcita favorece la fusión del material y la lamina metálica aporta material.

Para unir piezas eran más usuales los remaches y abrazaderas.



Soldadura con electrodo revestido o tíg.

Esta tecnología también se aplica para facilitar las uniones primitivas como las abrazaderas. En las recreaciones de esta técnica a veces se trampea un poco la unión dando antes unos puntos de soldadura, de manera que la abrazadera deja de ser la pieza de unión para pasar a ser un elemento ornamental.

Maquinarias de gas:

En muchos casos vemos como se nos facilita el trabajo en las técnicas de trabajo y unión de las piezas

Se recupera la técnica de la unión con remache. Este proceso se sigue aplicando para las piezas a las que se les quiere dar una línea más tradicional, pero son pocos los herreros que no usan un taladro para abrir el primer orificio, facilitando así el trabajo.

También se utilizan sopletes y autógenas, para concentrar la llama solo en el remache, Lo que nos permite colocarlo en frío y remacharlo cuando ya está puesto, y en caso de quedar flojo poder apretarlo sin tener que meter toda la pieza al fuego, evitando así el riesgo de estropearla.

Maquinaria doméstica:



Las máquinas de corte como las radiales también juegan un papel importante ya que permiten al herrero dar una pre-forma al material que posteriormente meterán en la fragua y será trabajado en caliente. También se usan para pulir las piezas con el disco de milhojas, lo que resalta las líneas y pliegues de la pieza.

Las máquinas de taladrar , como hemos comentado antes, también facilitan mucho el trabajo, abriendo orificios para posterior remachado ahorrándonos así el trabajo de punzonamiento.

El punzonado es una técnica antigua que se utilizaba en la rejería tradicional para abrir orificios, un buen punzonado es aquel que una vez realizado el perfil no ha perdido sección, la técnica tradicional es lenta y laboriosa ya que hay que calentar el perfil varias veces y irlo punzonando por las dos caras.



Los taladros también nos ayudan a pulir las piezas. Mediante unos cabezales especiales, en forma de cepillos de púas circulares. Estos cepillos se encuentran de distintos materiales, desde púas metálicas, pasando por discos de lija de diferentes granulometrías hasta por paños suaves para dar brillo espejo. Estos mismos accesorios también se encuentran disponibles para máquinas de corte como radiales.

En particular los cepillos de púas no solo nos ayudarán a pulir la pieza, sino que también nos servirá para darles acabados diferentes. Estos cepillos se utilizan con el material caliente.

Por ejemplo:



Cepillo de púas de acero, sirve para retirar la cascarilla superficial que se forma por la exposición al calor. El grosor y dureza de las púas dará textura al material, y si se usa de manera adecuada el acabado es muy parecido al acabado con grafito, un tono negro azulado muy característico en forja.



Cepillos de púas de latón, el hierro adopta unos reflejos dorados. Con los **cepillos de púas de cobre** el tono que coge el material es más rojizo.

Estos accesorios son la versión moderna de los cepillos manuales de púas, si bien es mucho mejor servirse de los manuales ya que se controla mejor el acabado, como ya hemos visto controlando el grosor y separación de las púas obtendremos un acabado más o menos fino.



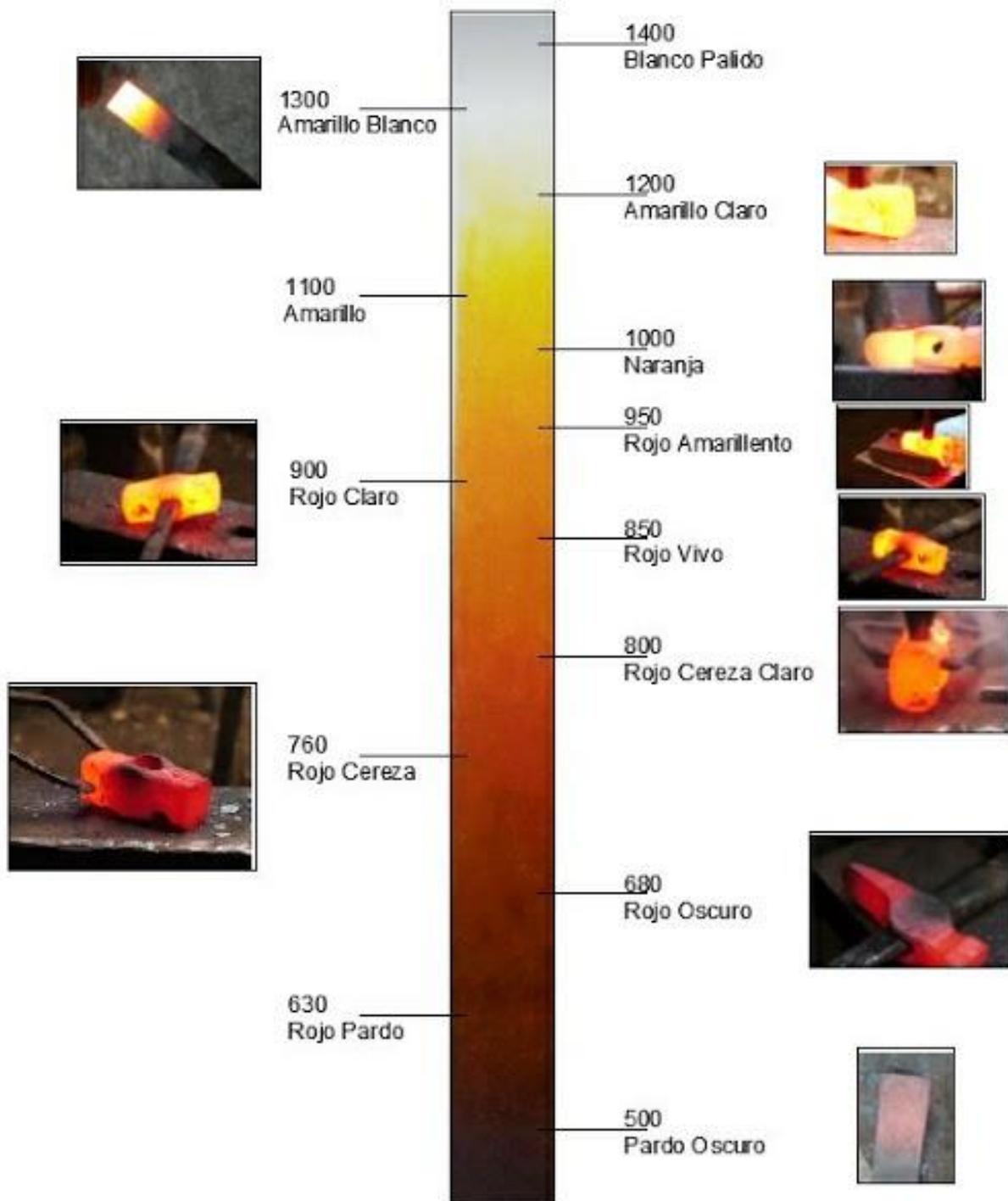
Lo que sí podemos destacar son los productos químicos que se aplican durante estos procesos para dar tonalidad al acabado de la pieza.



Los productos estrella son aquellos que nos oxidan el material rápidamente, conocido popularmente como "liquido azul", un compuesto a base de oxido de cobre nos ofrece una oxidación rápida y controlada de nuestro hierro, oxidándola hasta el punto adecuado y aplicando una lija suave podemos obtener resultados sorprendentes.

(Foto tomada por Yaiza Garcia, Escultura de Toni Vulcano a la izquierda de la fotografía el autor)

Para el control de a temperatura en la actualidad se utilizan termómetros pero la manera más recurrente para saber la temperatura de un material es la vista y los colores que toma el hierro al calentarse



(Esquema de colores Realizado por Yaiza Garcia)

5.8 TRABAJOS EN REHABILITACIONES Y METODOS PARA DAR ACABADOS

Con el paso del tiempo los hierros presentan una marcada patología, el óxido y la corrosión. A nivel causal los tenemos claramente definidos ya que el óxido se debe al contacto del oxígeno del aire CO₂ y el metal sufre una pudrición superficial que lleva a una pérdida progresiva de sección del material. La corrosión al contacto con el agua H₂O provoca una pérdida considerable de material y la expansión y separación de sus fibras. Pero a nivel usuario se habla de óxido de forma genérica como pérdida y degradación del material.

Para reparar elementos que presentan esta patología, muchas veces se recurre a la sustitución de dichos elementos por unos de nuevos, ya que el desconocimiento de las técnicas de trabajo y moldeado del hierro y sobretodo el desconocimiento de los artesano que saben trabajar con él, lleva a las personas encargadas de las intervenciones a pensar que no se pueden reparar o restaurar, pero lo cierto es que si se puede.

Se actuará de diferente manera según el grado de degradación del elemento, teniendo todas un punto de partida en común, el desmontaje de la pieza.

Para piezas **parcialmente corroídas** se limpiará en profundidad, se calentará y se trabajará lo suficiente hasta devolverle su forma original.

Para **piezas con una pérdida de material notable** se limpiarán en profundidad, se añadirá el material perdido a base de soldadura, una vez realizada la soldadura se someterá al nuevo material a un proceso de revenido para normalizar su estructura molecular y llevará el punto de unión hasta una temperatura suficiente para ser forjada de manera que los dos materiales, el hierro viejo y el hierro nuevo, alineen sus moléculas de hierro y carbono, de manera que trabajaran bien en conjunto.



Piezas irre recuperables son aquellas que el material es casi inexistente, en estas no tenemos más remedio que sustituirlas. Este caso nos lo solemos encontrar en rodapiés de balconeras mixtas de hierro y fundición. Lo difícil de este caso es la unión entre el hierro y la fundición ya que debido a su estructura y composición de carbono no se pueden soldar. Las uniones se suelen remachar y en intervenciones de rehabilitación lo conveniente es usar varillas de latón roscadas ya que su coeficiente de dilatación es lo suficientemente bajo como para absorber las diferencias de dilatación entre los diferentes materiales, roscadas porque es la manera menos invasiva de actuar, permitiéndonos el desmontaje a posteriori.

Otra patología en edificaciones antiguas viene derivada de la corrosión y es la que nos afecta a los soportes de las piezas, como balconeras o rejas, suponiendo un peligro ya que revientan el soporte por la expansión y se pueden desprenderse cascotes.

Los anclajes más respetuosos con el soporte son las emplomaduras ya que el plomo es un material con un coeficiente de dilatación muy bajo y una cierta fluencia que absorbe muy bien los cambios de volumen del hierro sea por dilatación térmica o por expansión por corrosión.

Con el tiempo las emplomaduras salen del soporte en el que está fijado y la manera de actuar sobre ellas es recortando mediante brocas el perímetro de la zona emplomada, retirando el soporte y volviendo a emplomar de nuevo.



Las emplomaduras tienen una técnica muy específica, se pueden realizar en frío y en caliente. Y lo más importante de todo es la correcta depuración del plomo ya que si este no está bien refinado se deteriorará en un periodo de 3 a 5 años.

En España tenemos una persona especializada en las técnicas de refinado y aplicación del plomo, se encuentra llevando las obras de la catedral de Santiago de Compostela, donde se han encontrado intervenciones de anclajes fijados con mortero de cal y cemento Cem, lo que a contribuido mucho a la degradación de los soportes previos.

Deberemos de tener en cuenta los coeficientes de dilatación para combinar los metales ya que nos influenciará en la duración y buen funcionamiento del conjunto.

Coeficientes de dilatación: (10^{-5}C)

ACERO < HIERRO < COBRE < LATÓN < PLATA < ALUMINIO < CINC < PLOMO
1,1-1,2 < 1,2 < 1,6-1,7 < 1,8-2,0 < 2,00 < 2,3-2,4 < 2,5-2,6 < 2,9-3,0

Empavonado en grafito se calienta el material a rojo claro y se espolvorea el grafito para que se adhiera. La adherencia se hace por fundición del polvo de grafito con el hierro. El acabado rugoso granulado, suele ser gris claro azulado. Se puede jugar con el tono de gris con la pureza del grafito. Como hemos visto en apartados anteriores el grafito es uno de los subproductos del hierro y como podemos observar en cualquier lápiz convencional a mayor proporción de grafito más oscuro será el resultado. Con el tiempo tras sufrir dilataciones diferentes por frío y calor el recubrimiento de aceite se cuarteo y se descascarilla. Cuando esto sucede la única manera de recuperar el recubrimiento continuo es eliminando el empavonado mediante chorro de arena, calentando la pieza y repetir el proceso de empavonado.

Si lo que queremos es que quede visible el desgaste por el paso del tiempo, podemos aplicar un aceite fluido para proteger las zonas del material que quedaron a la vista, pero el acabado de los restos del pavonado puede verse afectado ya que el aceite proporciona un brillo muy característico. Los barnices en este caso no serían adecuados ya que son más densos y afectarían al tono y a la rugosidad del acabado.

Tratamientos con ácidos hay productos que corroe el metal como el ácido sulfúrico, que aplicado de manera controlada proporcionan un acabado rugoso, que nos puede venir muy bien para recrear la forja antigua . Cuando se trabaja con ácido lo más importante es parar el proceso esto se consigue limpiando muy bien el material tratado. Posteriormente se aplicara algún tipo de pasivador para proteger el material.

Zincados es un tratamiento muy común en los productos industriales comerciales, se trata de aplicar una capa de zinc, bien por baño o por pulverización. La capa de zinc protege el material y evita su corrosión. El problema que tiene este tratamiento en productos huecos es que favorece la corrosión interna, por lo que se tiene q rellenar el hueco.

Tratamientos con aceite y barnices

La función de todos los recubrimientos con aceite o barnices es proteger el hierro del óxido y la corrosión ya que impide que el material esté en contacto con el oxígeno y el agua. La diferencia principal entre un aceite y un barniz es el origen, los aceites son de origen vegetal y los barnices suelen ser sintéticos.



Protección con aceite se trata de untar aceite en el metal, generando una fina capa de material que impedirá que esté en contacto con el oxígeno y el agua impidiendo así su oxidación y corrosión. Este recubrimiento es de sección fina por lo que no se desconcha, pero con el paso del tiempo y el tacto se elimina esta capa por lo que hay que realizar un mantenimiento con aceite periódico. Este tratamiento es adecuado para interiores. El aceite proporciona un acabado brillante y con el material en frío no modifica el color. El mantenimiento consiste en untar aceite en el material frío periódicamente, cada año/dos años, según las condiciones a las que esté expuesto. La primera intervención de mantenimiento se tendrá que realizar desde el primer año.

Esta protección se puede emplear después de procesos de oxidación para frenar el proceso y conseguir mantener el color y textura del acabado.

No es aconsejable usar barnices ya que la película generada por el propio aceite impedirá la adherencia de este.



(Foto escultura Toni Vulcano)

Empavonado con aceite se calienta el material a rojo oscuro y se rocía con aceite limpio industrial o 3 en 1. El acabado es brillante con un tono dorado, el brillo es semejante al acabado que dejaría un barniz fluido. El recubrimiento es más grueso que aplicando el aceite en frío y más fino que el del empavonado con aceite industrial. No suele cuartearse pero dependerá del espesor de la capa de recubrimiento. El mantenimiento consiste en untar aceite en el material frío periódicamente, cada año/dos años, según las condiciones a las que esté expuesto.

En este caso podríamos usar barnices para protegerlo, adherirá bien ya que al haber estado aplicado en caliente la consistencia es cristalina, pero lo que hacemos al aplicar el barniz es incrementar el recubrimiento y con el tiempo cuarteara y desconchara. Si no se trata de un producto expuesto a la intemperie que necesite una protección más potente, no es aconsejable.



Empavonado con aceite industrial se calienta el material a rojo cereza y se sumerge en aceite usado de motor, aceite industrial. El acabado es negro brillante, semejante al acabado que dejaría una pintura fluida. En su sección podríamos observar una capa fina de recubrimiento. Es uno de los acabados más comunes en forja. Con el tiempo tras sufrir dilataciones diferentes por frío y calor el recubrimiento de aceite se cuartea y se descascarilla. Con el tiempo tras sufrir dilataciones diferentes por frío y calor el recubrimiento de aceite se cuartea y se descascarilla. Cuando esto sucede la única manera de recuperar el recubrimiento continuo es eliminando el empavonado mediante chorro de arena, calentando la pieza y repetir el proceso de empavonado.

Si lo que queremos es que quede visible el desgaste por el paso del tiempo, podemos aplicar un aceite fluido para proteger las zonas del material que quedaron a la vista, en este caso el acabado de los restos del pavonado se vería afectado ya que el brillo que proporciona el aceite es semejante al del empavonado.

Los barnices en este caso también pueden ser adecuados, su densidad lo que hará es crear una película más gruesa por encima del empavonado suavizando las irregularidades entre el empavonado y el hierro desnudo haciendo que sea prácticamente imperceptible y fijarlas escamas de empavonado que estén a punto de saltar. Por el contrario con el tiempo puede ser anti productivo ya que a mayor espesor del recubrimiento más facilidad tiene de saltar provocando que con el tiempo se tenga q pulir todo.

Barnices este es uno de los protectores más reconocidos, suele ser incoloro y lo encontramos en mate y en brillante.

El problema es cuando no usamos productos específicos para hierro ya que su densidad es mayor y no se introduce tan bien en el poro del hierro, lo que facilita que se desconche. El desconche suele ser fruto de cambios de dilatación muy diferentes entre sí. Y al secar a pesar de ser un producto de base plástica se comporta como un cristal, por lo que con el tiempo cristaliza, rompe y se desconcha.

Para evitar que se degrade es importante un mantenimiento periódico de la superficie. Lo correcto



sería limpiar el producto aplicado con anterioridad con un chorro suave de arena de sílice y una vez está eliminado por completo volver a aplicar el producto.



Pinturas o policromía

Es la manera de aplicar color de manera artificial. Diferenciaremos entre las pinturas con base natural y base sintética.

Las naturales tienen como base aceites naturales y estas se pueden aplicar directamente o con una base, esta última técnica se conoce como bruñido.

Principalmente se trata de aplicar pigmentos que den color a la pieza fijándolos mediante barnices o Ceras.

(Pieza realizada por Yaza Garcia, policromía realizada a partir de yesos de colores fijados con barniz, como base se utilizó el propio óxido del material.)



(Foto tomada en Sahagun, León, autor artista local, ejemplo de piezas acabada con pinturas densas.)

Pinturas densas

La mayoría de trabajos que se demandan en rehabilitación se trata de sustituciones y recreaciones exactas de piezas ya existentes tanto de forja como de fundición.

En este caso la industrialización de la forja no siempre nos ayuda ya que hay patinas que solo se pueden conseguir mediante los métodos antiguos de trabajo.

El acabado rugoso del material se debe a la exposición al calor , las fibras superficiales se queman y queda adherido al material una piel de escamas de este mezclado con escoria.

Este acabado lo intentan recrear a base de pinturas, algunas pinturas antioxidantes, conocidas, con el nombre de oxirón, oxirite y otras, pero no dejan de ser un derivado del minio, pintura anti-oxidación de color anaranjado compuesta por óxido de cobre.

Estas pinturas hoy en día se encuentra en el mercado en varios colores, con acabado mate, brillante o esmaltado. Para forja se usan las de pavonado acabado forja y las de acabado pavonado grano fino en mate o brillante también, las de acabado mate, más realista, o con acabado brillante. Pero no deja de ser un tratamiento de protección superficial para proteger al material derivado de la pintura. Estas pinturas nos ayudan a conservar las piezas originales ya oxidadas, ya que frenan el proceso, pero para los ojos más críticos y entendidos quedan muy artificiales, se ve claramente que se trata de una pintura.

En trabajos de forja industrial y en frío ubicadas en residencias particulares, como vallas perimetrales y rejas de ventana y otros su utilización puede ser interesantes ya que a vista de un usuario poco entendido el acabado es correcto, ya que da esa rugosidad de la forja en caliente que no tienen estos elementos industriales, a su vez cumple su función de proteger el material y alargar su vida útil. Como inconveniente debido a que es una pintura bastante densa se suele acumular en las juntas y uniones de los elementos que componen el elemento de protección.

Otra opción para proteger el material de la oxidación son los pasivadores en aceite como los que ofrecen la marca btc europe.

5.9 PRACTICA RECONSTRUCCION DE UN HORNO

Recreamos un horno prehistórico de arcilla para simular la obtención de la primera materia prima. En muchas ocasiones para recuperar piezas tenemos que hacer un aporte del material considerable y para ello es conveniente que el poro se asemeje lo más posible. Para poder hallar el punto medio hemos de empezar la investigación con los primeros hornos prehistóricos.

Cómo vimos en el apartado 1.3 lo primero que hemos de hacer es escoger y preparar el material a emplear.

Para ello debemos preparar el carbón vegetal a un tamaño adecuado, más o menos el tamaño de una nuez. Con el mineral lo que haremos es tostarlo primeramente, durante unas horas hasta que se vuelva magnético, una vez tostado debemos machacarlo hasta obtener una granulometría fina.

Que conseguimos con este primer paso:

- Reducción de impurezas
- Reducción de humedad
- Aumentar superficie
- Minimizar consumo carbón
- Quemar azufre
- Meteorización



Una vez tengamos el mineral preparado y el carbón a tamaño adecuado, el siguiente paso será construir el horno. Para ello empleamos las técnicas constructivas de las antiguas edificaciones de adobe. Será importante que la arcilla tenga la humedad suficiente para que compacte bien y la justa para que no sufra mucha retracción según vaya secando. Igual que el adobe está masa se arma con paja, la paja no solo ayudará a dar monolitos no al conjunto y servirá de armadura durante el secado, si no que una vez el horno alcance temperatura suficiente está se calcinara y dejara pequeñas cavidades que nos ayudará a mantener la temperatura en el interior del horno.

Para seleccionar la arcilla más adecuada para el horno nos fijaremos en el color, cuanto más blanca más contenido en aluminio tendrá y por lo tanto será más refractaria y aguantará mejor la temperatura.

En nuestro caso utilizamos una arcilla con contenido medio en óxido de hierro, normalmente se utiliza la que tengas en la zona donde te dispones a construir el horno.



Primero de todo construimos una base solida a modo de solera la que nos ayudara a proteger el pavimento y aislar térmicamente para que no se pierda la temperatura.

En cuanto a la geometría del horno habrá que tener en cuenta 3 factores, el espesor de pared, la forma, y el ancho de boca.

El espesor de pared será determinante por 2 factores. El primero es que este trabajara por gravedad, como los muros de rocalla de las arquitectura tradicional, las paredes de nuestro horno tendrá que tener la suficiente robustez como para soportarse solo teniendo una sección considerablemente mayor en la parte posterior que en la superior. Por otro lado

necesitamos mantener la temperatura en el interior una vez esté en funcionamiento, por lo que el espesor de la pared será determinante, juntamente con la densidad del material que al tratarse de arcillas será lo suficientemente compacto.

El diámetro y la altura será lo que nos marcara la capacidad y frecuencia de combustión de material y la adecuaremos a nuestras necesidades.

El diámetro de la boca nos facilitara el cargado de mineral y combustible ya que si es muy estrecha se nos dificultara el trabajo.



Una vez tenemos el horno construido procederemos a un secado previo, en nuestro caso lo aceleramos mediante fogatas internas a medida que seque el horno nos aparecerán fisuras por la retracción de la arcilla. Procederemos a sellarlas con otra capa de arcilla con abundante paja.

Estando medio seco el horno procederemos a introducir la tobera. En nuestro caso tomaremos un tubo metálico y insuflaremos el aire por esta mediante un ventilador eléctrico. El ventilador nos proporcionara una ventilación forzada constante lo que favorecerá a la combustión y elevara la temperatura de esta.



(Foto de Yaiza Garcia , Maestro Thomas Mink y experto en aceros Germán Azote precalentando el horno)

Para precalentar el horno utilizaremos carbón vegetal comercial. Mientras toma una temperatura adecuada (800°) procedemos al pesaje del mineral y del fundente que iremos introduciendo.



Se introducirá una cantidad ligeramente menor de combustible que de mineral machacado. Para fomentar la combustión se puede añadir calice o bórax.

Tras 23 cargas arrojadas con una frecuencia aproximada de 7 minutos dejamos apagar el horno y procedemos a abrirlo.

Lo dejamos apagar porque en el interior se alcanzan temperaturas de hasta 1400° y podríamos quemarnos. La temperatura la fuimos controlando mediante un pirómetro.



La hora de abrir el horno nos la marcara la frecuencia ultima de carga que se irá alargando poco a poco, y el color de la lama que pasara de ser azul intensa a naranja amarillenta.



(Izquierda horno quemando el mineral correctamente a la derecha horno quemando solo carbón)

Una vez se abre el horno se busca lo que denominaremos lupia, que es la esponja de hierro fundida que intentaremos compactar lo máximo posible mediante golpeo.

Con el golpeo de la lupia caliente también conseguiremos que se separe la escoria de esta. La escoria estará formada por metales y otros minerales entre ellos sílice. En nuestro caso obtuvimos una lupia muy porosa, frágil y muy mezclada con escorias y carbón.

Dejamos enfriar toda la noche y al día siguiente nos disponemos a pesar la cantidad de hierro obtenido.



Obtuvimos un total de 5 kilos de material en sucio el cual nos dispusimos a triturar para introducirlo en un horno de fundición casero para intentar compactarlo lo máximo posible.



El horno casero funciona con gas butano, mediante dos boquillas que lo insuflan dentro de un tanque recubierto con material refractario aislante. En el interior se alcanzan temperaturas de hasta 1700°C y para soportar las muestras se utilizan crisoles de grafito que soportan hasta 2000° C de temperatura.

Conseguimos compactar un poco más la lupia pero no nos dio tiempo a comprobar la soldabilidad con otros metales.



Una vez fundido realizamos la prueba de fuego para ver la porosidad y el contenido en carbono.



Al corte con la radial la muestra no chispea demasiado y las chispas producidas por la fricción del disco son estelas ordenadas en línea recta lo que nos indica que es bastante poroso y que no tiene un alto contenido en carbono, de tenerlo las chispas hubieran sido abundantes y se hubieran disparado en todas direcciones.

3 CONCLUSIONS / RECOMANANCIONS

Conociendo la capacidad de absorber el carbono podemos afirmar que de una primera fundición de materia prima podemos obtener acero. Por lo que trabajamos con acero y no con hierro ya que el contenido en carbono del material será superior al 0.02%.

Observamos unos subproductos derivados de la exposición al calor y a el contenido en carbono nos afectan directamente al comportamiento del material y nos marcaran sus capacidades mecánicas. Podemos saber la historia de un hierro analizando su comportamiento y observando su cristalografía.

Las capacidades mecánicas se ven condicionadas por el tratamiento térmico e historia del material. Las características mecánicas adquiridas durante la manipulación del material nos influenciarán directamente en el comportamiento de este, pudiendo revertir parte de ellas con los tratamientos térmicos.

La forja de Gaudí se engloba dentro del modernismo catalán ya que era una pieza fundamental de sus obras tan especiales por sus pequeños detalles y sin ella no serian lo mismo. A día de hoy se sigue una línea modernista ya que la premisa principal para el diseño es la observación y su inspiración principal la naturaleza.

El conocimiento del material no solo es importante para el diseño sino que también juega un papel fundamental en la ejecución ya que de ello dependerá el acabado.

Todos los acabados son posibles, pero se requiere de mano de obra cualificada, el primer paso es que el técnico que dirige la intervención tenga claras cuales son las posibilidades para la restauración de las piezas y sepa buscar en el gremio la persona más especializada en cada trabajo.

Sin una correcta formación de los técnicos perderemos poco a poco el patrimonio, las malas intervenciones de rehabilitación destruyen lo conservado. Para fomentar el interés de los profesionales sería conveniente destinar más fondos a las partidas de elementos metálicos. Como todo oficio artesanal requiere de práctica para su perfección y si los técnicos no abrimos la puerta al oficio mirando de abaratar las intervenciones, acabaremos perdiéndolo por completo y será entonces cuando la rehabilitación de nuestro patrimonio ya no sea posible.

La dificultad para recopilar la información ha sido notable ya que en su mayoría me he visto obligada a viajar y visitar a los profesionales y la obtención de información ha sido de manera oral, para favorecer el conocimiento y divulgación de los métodos y técnicas sería conveniente mas material escrito.

Para la obtención del hierro poroso en hornos primitivos será fundamental considerar:

- Horno: Arcilla, cuanto más refractaria, mejor, diámetro horno, altura horno.
- Mineral: Tostación en caso de ser necesario, trituración del mineral.
- Carbón vegetal: Buen poder calorífico, trituración a tamaño adecuado, control de humedad.
- Tobera: Número de toberas diámetro tobera, ángulo de introducción en el horno, penetración en cámara de combustión.

Nos condicionara el resultado del horno :

- Factores a favor: Forma del horno, flujo del aire, ratio mineral carbón, tiempo en el horno, aleante Mn...
- Carburización: Hierro sólido acepta C por difusión
- Condiciones: Atmósfera rica en CO, temperatura (>900°C) y tiempo

4 BIBLIOGRAFIA

Artículo documentado principalmente en:

J.ANTONIO PEÑA MARTINEZ, 2007: “**Nuestro Pasado Ibero**; EDETA”. pp 174,178

ALMAGRO GORBEA., 1986:”**Bronce Final y Edd del Hierro**” Mdrid,

Auñamendi Eusko Entziklopedia

Bernardo Estornés Lasa Fondoa

Benevolo, Leonardo (2007) *Historia de la arquitectura moderna*. 8ª edición. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

Steinmam, David B. y Watson, Sara R. (2001) *Puentes y sus constructores*. 2ª edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Ciencia, Humanidades e Ingeniería. Madrid.

SANCHO PLANAS, Marta (1999): Homes, fargues, ferro i foc. Arqueologia i documentació per a l'estudi de la producció de ferro en època medieval. Col·lecció Cultura, Tècnica i Societat, 17. Enginyers Industrials de Catalunya. Marcombo-Buixareu Editors.

AMENÓS, Lluïsa: Les Arts de la Forja a Barcelona durant els primers anys del Modernisme (1890-1900). Els serrallers documentats a les exposicions d'indústries artístiques. Butlletí de la Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi, XVI 2002, pàgs. 99-118

5 AGRADECIMIENTOS:

Escultor Toni Vulcano por enseñarme su obra y especificarme las técnicas de acabado.

Artesano Santiago Martínez por abrirme las puertas de su casa y enseñarme con detalle toda la intervención que esta realizando con las emplomaduras de la catedral de Santiago.

Artesano Thomas Mink por dejarme sus apuntes de Paleontometalurgia y aclarar todas mis dudas al respecto.

Víctor Acosta y Germán Azote por compartir conmigo sus conocimientos sobre el contenido en carbono del hierro y su comportamiento.

Arqueólogo Manuel Medarde por abrirme las puertas del Instituto Gaudí y dejarme sus notas, gracias a el podemos descubrir al verdadero Gaudí como herrero y arquitecto.

Ruth García por prestarme las notas de su doctorado en elementos de forja.

A los chicos del taller l'Astilla por dejarme usar sus instalaciones.

José María García por introducirme al maravilloso mundo de la forja.

Por último al Gremio de herreros por acogerme y compartir conmigo todas las posibilidades y técnicas que poco a poco se van recuperando.

Me enorgullece decir que todo lo recogido en el trabajo es gracias a su practica incansable y que gracias a ellos a día de hoy la forja sigue viva.