

TALLER DE FABRICACIÓN DE HIERRO FORJADO DE LA FÁBRICA NACIONAL DE TRUBIA. PROTOTIPO DE ARQUITECTURA INDUSTRIAL.

WROUGHT IRON SHOP IN THE NATIONAL ARMOURY AT TRUBIA. PROTOTYPE OF INDUSTRIAL ARCHITECTURE

A. Martín Rodríguez, G. Moris Menéndez, F. Suárez Domínguez, J. J. del Coz Díaz, A. Lozano Martínez-Luengas. Departamento de Construcción de la Escuela de Ingeniería Industrial de Oviedo, Campus de Gijón.

1. Localización.

Este taller perteneció al conjunto de instalaciones productivas, que existían en la Fábrica de municiones de Trubia, localidad situada en la parte central de Asturias, a 12 km de Oviedo. El establecimiento fue creado en 1794, con la finalidad de proveer armas y municiones a los ejércitos españoles. El taller de fabricación de hierro forjado se terminó de construir en marzo de 1853, y estaba dedicado a la obtención de hierro pudelado, producto de gran utilidad en la industria armamentística a mediados del siglo XIX.

La localización de este establecimiento está relacionada principalmente con la obtención de materias primas, energía, transporte y consideraciones estratégicas de defensa. Sabemos que a finales del siglo XVIII, el proceso, de producción de armas, requería la instalación de todo un complejo siderúrgico, y por tanto las materias primas utilizadas eran carbón, mineral de hierro, castina, etc. Además era necesario conseguir la fuerza motriz a través de la energía proporcionada por las corrientes de los ríos, y posteriormente, a través del vapor.

La elección de Trubia como localización de una fábrica de armas, se debió a que este lugar reunía una serie de condiciones ventajosas, que entre las más interesantes destacamos:

1. Location.

This shop formed a part of an industrial compound, the Trubia armoury located in central Asturias, Spain, just 12 km outside Oviedo, the provincial capital.. The facility was founded in 1794 to supply the Spanish armed forces with weapons and ammunition. Completed in March 1853, the wrought iron shop made puddled iron, a key product in the mid-nineteenth century arms industry.

The plant location was chosen primarily because of the existence of raw materials, energy and navigable rivers for shipping, as well as for defence-related considerations. In the late eighteenth century iron and steel mills were a necessary component of weapons plants, whose raw materials consequently included coal, iron ore and limestone flux. The power required was drawn first from river currents and later from steam.

Trubia was chosen as the site for one such plant because it featured a number of advantages, namely:

- La existencia de un espacio útil en la confluencia de los ríos Nalón y Trubia. El río Trubia, al disponer de caudal suficiente, permitiría mover maquinaria que pudiera ser montada como fuerza motriz. El río Nalón podría ser utilizado para el transporte de carbón desde las cuencas mineras de Langreo, y también, se buscaba dar salida al mar a los productos acabados.
- En las cercanías de Trubia se habían encontrado varios criaderos de mineral de hierro y de carbón utilizados como materias primas en el proceso productivo.
- Además estaban las consideraciones de "estrategia defensiva", ya que las relaciones con Francia, no pasaban por su mejor momento, hasta el punto de existir un verdadero peligro de invasión, por parte del país vecino. Si se considera que las fábricas de armas y municiones, existentes en aquel momento en España, estaban situadas en Navarra y Guipúzcoa, a "tiro de piedra" de la frontera francesa, puede entenderse fácilmente la necesidad de localizar este nuevo establecimiento en un lugar más apartado y seguro.

En la etapa inicial, el establecimiento contaba con 2 hornos altos con sus trompas, edificio de moldeo, presa sobre el río, canal, etc. Sin embargo a pesar de la gran inversión realizada, no se obtuvieron muchos éxitos tecnológicos, tal es así, que no se llegó nunca a obtener hierro fundido a partir de cok. Además surge otra dificultad, y es que a partir del año 1808, la invasión francesa obligó a suspender totalmente los trabajos en la fábrica, quedando abandonada y semidestruida.

Si a todo esto sumamos que el transporte fluvial a través del río Nalón, se reveló como un proyecto de gran coste y por tanto irrealizable, el enclave elegido no pareció ser muy afortunado.

The existence of available land at the convergence of the Nalón and Trubia Rivers. The Trubia River had a strong enough current to drive the machinery needed for the works. The Nalón River, in turn, could be used to bring in coal from the mines at Langreo and ship the finished products to sea harbours.

- *Several seams of iron and coal had been located near Trubia that could be used as raw materials in the manufacturing process.*
- *Other considerations, such as "defence strategy" also weighed in the decision, for relations with France were tense, with a genuine risk of invasion from Spain's northern neighbour. Given that the arms and ammunition plants existing at the time in Spain were located in Navarre and Guipuzcoa, i.e., nearly on the French border, the need to find a more remote and safer site for this new factory can be readily understood.*

Initially the facility had two blast furnaces with their respective troughs, moulding bays, dams over the river, canals and so on. Despite the investment made, however, technological success remained elusive and in fact molten iron was never obtained from coke. The French invasion in 1808 constituted a further difficulty, leading to suspension of work on the factory, which was subsequently abandoned and largely destroyed.

Moreover, shipping material on the Nalón River proved to be unfeasible due to the high costs involved. The obvious conclusion of all the foregoing is that the choice of the site was less than fortunate.

A pesar de todos estos antecedentes, en el año 1844 se procede al restablecimiento de la fábrica, poniendo al frente a D. Francisco Antonio de Elorza, el cual emprendió una serie de reformas y nuevas construcciones, resultando el periodo más brillante de su historia, de tal forma que llegó a ser considerado como uno de los mejores establecimientos de su género en Europa.

Nuestro taller de fabricación de hierro forjado surgió en este periodo, y es uno de los más vastos espacios productivos del establecimiento.

Despite all these drawbacks, the factory was re-built in 1844 under the leadership of Francisco Antonio de Elorza, who undertook a series of reforms and new construction in what was to be the most illustrious period of the history of the facility, briefly regarded to be among the best of its kind in Europe.

The wrought iron shop, established in this period, is one of the most spacious productive establishments in the compound.

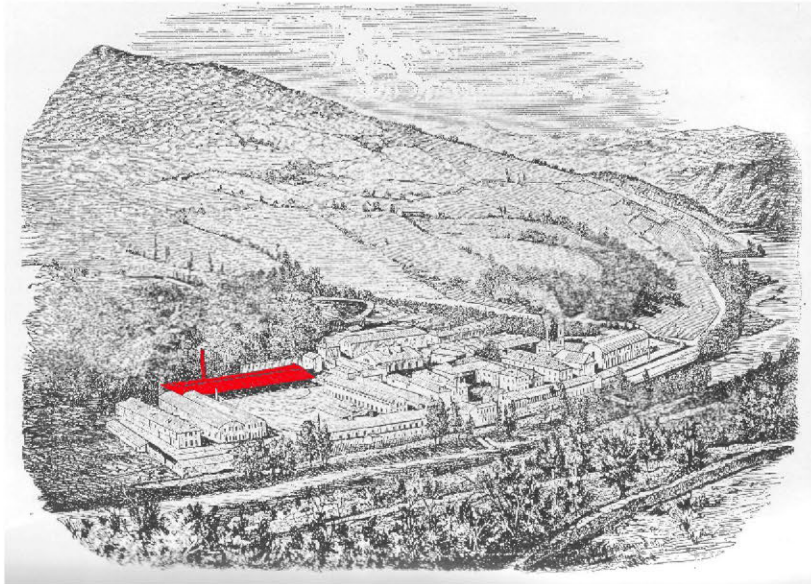


Figura 1. Vista de la Fábrica Nacional de Trubia en el año 1880. Taller de hierro forjado en rojo.
Figure 1. View of the National Armoury at Trubia in 1880. The wrought iron shop is shown in red.

2. Estudio del proceso productivo.

El proceso productivo llevado a cabo en el taller de fabricación de hierro forjado, expresado en líneas generales, consiste en lo siguiente:

1. Se inicia con el lingote de fundición (material de gran dureza, frágil y no forjable) procedente del horno alto, que va a ser introducido en un horno de reverbero, el cual, mediante la decarburación, pasa a convertirse en hierro pudelado, (material maleable y dúctil aunque de menor dureza) conformándose, éste, en forma de bolas. Esta operación es conocida con el nombre de afino.

2. The production process.

The production process conducted in the wrought iron shop consisted essentially in the following:

1. *It began with blast furnace pig iron (hard, brittle and non-workable material) that was placed in a reverberatory furnace, where it was decarburized to make puddled iron balls (malleable and ductile, although not as hard as pig iron). This operation is known as refining.*

2. Posteriormente, estas bolas incandescentes, son sometidas a un proceso de forja mediante un martillo pilón, o el squeezer, obteniéndose los denominados *desbastes*. Este material presenta una mayor calidad metalúrgica y mejora las propiedades mecánicas.

3. Estos desbastes son llevados a un horno de recalentado, con el fin de adquirir la temperatura adecuada para su laminación.

4. Finalmente los desbastes son obligados a pasar por los cilindros de laminación, donde se obtiene una amplia gama de productos laminados (redondos, llantas, flejes, angulares, chapas, carriles, etc.).

No cabe la menor duda que, en aquellos años, el proceso de pudelado era tecnología de vanguardia, aunque posteriormente, sería desplazada por el convertidor de Bessemer (año 1855) y el procedimiento Martín-Siemens (año 1863) comenzando la época del acero barato. Sin embargo es interesante leer "A Treatise on Metallurgy", de Frederick Overman, publicación realizada en Nueva York, en el año 1868, donde todavía su autor expresaba el siguiente comentario respecto al proceso del pudelado: "Puddling is the most rational process of refining iron, and must finally supersede all others."

3. Medios de producción.

Los principales medios de producción necesarios para realizar este proceso productivo son los siguientes; hornos, calderas, máquinas de vapor, martillo pilón, trenes de laminación, grúas, carretillas, herramientas, cobertizo, etc.

3.1 Los hornos de pudelado.

Estos son unos hornos de reverbero, que se caracterizan por tener un pequeño muro que separa el hogar, de una solera horizontal (denominada *plaza*) donde se coloca la carga de arrabio, quedando éste espacio totalmente independiente del combustible.

2. These incandescent balls were later wrought with a power hammer or a squeezer to obtain blooms. The resulting material was a stronger, higher quality iron.

3. The blooms were carried to a second furnace where they were reheated to a temperature suitable for rolling.

4. Finally, the blooms were sent through rollers to produce a wide range of rolled products (round, flat, hoop and angle irons, sheet metal, rails and so on).

At the time, puddling was indisputably a thoroughly modern technique, although it was eventually displaced by the Bessemer converter (1855) and Martin-Siemens procedure (1863), which ushered in the age of inexpensive steel. Even so, in A treatise on metallurgy published in New York in 1868, Frederick Overman still claimed that "Puddling is the most rational process of refining iron and must finally supersede all others".

3. Production equipment.

The main equipment needed in this production process included: furnaces, boilers, steam engines, power hammers, rolling trains, cranes, wheelbarrows, tools, sheds and so forth.

3.1 Puddling furnaces.

These are reverberatory furnaces, separated from the hearth by a low wall and fitted with a horizontal platform for loading the pig iron (called the grate); this design ensured that the raw material never came into contact with the fuel.

De hecho, la denominación de horno de reverbero se debe a que el calor generado "reverbera" o se refleja en la bóveda sobre la solera, al paso de los gases de la combustión hacia la chimenea. Este proceso tiene sus orígenes en el año 1784, en el que el inglés Henry Cort procedió con el afino del arrabio en horno de reverbero, utilizando carbón como combustible.

En la primera parte del proceso de pudelado, el arrabio que se ha cargado en la plaza, llega a fundir debido a que su temperatura de fusión es de 1.150 a 1.250 °C inferior a los 1.300 a 1.450 °C que se consiguen bajo la bóveda del horno. Posteriormente, al final del proceso el metal queda pastoso por haberse transformado la "fundición" en "hierro", que presenta una temperatura de fusión de 1.539 °C superior a la que puede conseguirse en el horno.

El pudelador, cuanto más removiese la masa, más bajos podían obtenerse los contenidos en carbono y más homogéneo era el material. Finalmente sólo quedaba una masa de hierro de color blanco brillante y es entonces cuando la masa se divide en *bolás*, también llamadas *zamarras*, con un peso en torno a los 40 Kg.

Indeed, the term reverberatory refers to the fact that the heat generated "reverberated" or reflected off the vault on to the grate at the bottom of the furnace as the combustion gas was removed out the chimney. The process was invented by Englishman Henry Cort in 1784, who refined pig iron in a reverberatory furnace, using coal as the fuel.

In the first part of the puddling process, the pig iron melted, for its melting temperature, 1150 to 1250 °C, was lower than the 1300 to 1450 °C reached in the furnace. At the end of the process the metal "came to nature", acquiring a spongy consistency after its conversion from "pig iron" to "iron", with a melting temperature of 1539 °C, i.e., higher than the temperature in the furnace.

The more vigorously the rabbler or puddler stirred the molten mass, the lower was the carbon content in the iron and the more homogeneous the material. The final product was a shiny white iron mass, which was gathered into puddle balls, each weighing around 40 kg.

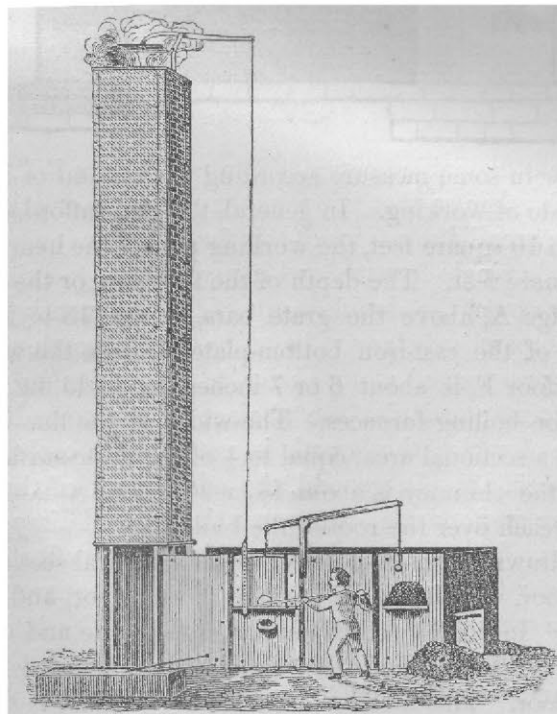


Figura 2. Vista de un horno de pudelaje. Según Overman. Año 1868.
Figure 2. View of a puddling furnace. Overman, 1868.

El ciclo completo de operaciones para conseguir una colada, podría tener una duración aproximada de dos horas, y se iniciaba recubriendo a paladas toda la solera del horno con escorias, en una cantidad del orden de 50 Kg. El horno se solía cargar con 200 o 250 Kg. de arrabio en trozos de 20 Kg.

El trabajo realizado por el obrero pudelador era uno de los más penosos que se conocen, ya que necesita desarrollar gran fuerza muscular además de pericia con el proceso, al mismo tiempo que está expuesto a elevadas temperaturas. En un estudio realizado en este sentido, a un pudelador se le colocó un termómetro en el pecho y otro en la espalda, y a los tres minutos, al ser reemplazado por el ayudante, el termómetro anterior marcaba 82 °C y 70 °C el posterior, siendo la temperatura de aire ambiente de 32 °C a la sombra, y habiéndose verificado la prueba en un taller espacioso y ventilado.

3.2 Calderas de vapor.

La fuerza motriz necesaria para nuestro proceso productivo la obtenemos a través de máquinas de vapor, alimentadas por una serie de calderas, estando estas dispuestas entre los hornos.

Al disponer de hornos de pudelado y recalentado, la solución propuesta consiste en agrupar un horno de pudelado y otro de recalentado, de tal forma que las "llamas perdidas" de estos hornos, circulen por la superficie exterior de la caldera, transfiriendo de esta manera, el calor de los gases de la combustión, al agua de la caldera y por tanto produciendo vapor.

El sistema de calderas de vapor lleva asociado las tuberías de agua con las correspondientes bombas así como las líneas de distribución del vapor y depósitos de recogida de condensados.

3.3 Máquinas de vapor.

Las máquinas de vapor utilizadas van a ser de posición horizontal, tracción directa, alta presión, sin condensador.

The entire process lasted approximately two hours. The first step consisted in covering the entire floor of the furnace with around 50 kg of slag. The furnace was then charged with from 200 to 250 kg of pig iron in 20-kg pieces.

Puddlers had one of the hardest jobs known, for they needed both considerable physical strength and skill, and worked at extremely high temperatures. In one study, thermometers were placed on a puddler's chest and back; three minutes later, when he was replaced by a helper, the former showed a temperature of 82 °C and the latter 70 °C, while the air temperature was 32 °C in the shade and the trial was conducted in a spacious and well ventilated shop.

3.2 Steam boilers.

The power for the manufacturing process was obtained from steam engines, fed by a series of boilers.

Each boiler was positioned in between one puddling and one reheating furnace, where it was heated by the combustion gas emitted by the furnaces, in a sequence that in effect transferred the heat from the gas to the water in the boiler to produce steam.

The steam boiler system included water pipes and their respective pumps, as well as steam distribution lines and tanks for collecting the condensate.

3.3 Steam engines.

Horizontal, direct drive, high pressure steam engines with no condensers were used.

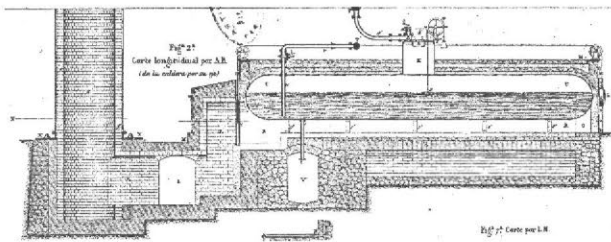


Figura 3. Caldera de vapor caldeada por los gases de los hornos de pudelado y recalentado
Figure 3. Steam boiler heated by the gas from puddling and reheating furnaces

En función de los usos tendremos, en total 3 máquinas de vapor con las siguientes potencias:

- Máquina de 60 C.V. que mueve una prensa para bolas, un tren forjador, un tren de chapa y tres tijeras para cortar toda clase de hierros.
- Máquina de 45 C.V. que pone en movimiento un tren de cilindros para el estirado de hierros gruesos y carriles y dos sierras circulares para cortar los extremos de estos carriles.
- Máquina de vapor de 45 C.V. que pone en movimiento el tren de cilindros para el estirado de los hierros finos y los cilindros en que se forjan y estiran los cañones para las armas de fuego portátiles.

3.4 Martillo pilón.

El martillo pilón tiene la función de batir las bolas de hierro pudelado eliminándose así, las escorias y soldándose los grumos de hierro, Con esta operación se llega a lograr, que el hierro que se bate, tome la forma de un paralelepípedo groseramente conformado.

El martillo pilón va a estar produciendo grandes impactos a una frecuencia determinada, y esto puede producir vibraciones indeseadas, tanto al propio martillo como al resto de las instalaciones.

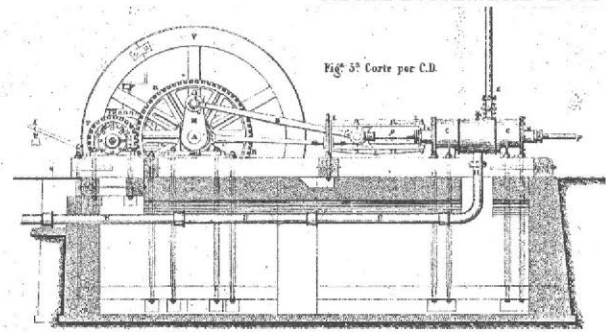


Figura 4. Máquina de vapor horizontal de tracción directa.
Figure 4. Horizontal direct drive steam engine.

Depending on the use, a total of three steam engines with the following specifications were deployed.

- 60-HP engine that moved a ball press, a forging train, a sheet metal train and three shears for cutting all kinds of iron.
- 45-HP engine that drove rollers to make wide iron bars and rails and two circular saws to cut the rails at both ends.
- 45-HP engine that drove rollers to make narrow iron bars and forge and draw barrels for hand-held weapons.

3.4 Power hammer.

The balls were "shingled" with power hammers to expel the slag and shut internal cracks, while pounding the iron into a roughly parallelepiped shape.

The steady impact of the hammer against the ball would have caused undesirable vibrations in both the hammer and the rest of the facility. This meant that the bed plate for the machine had to be carefully designed and built.

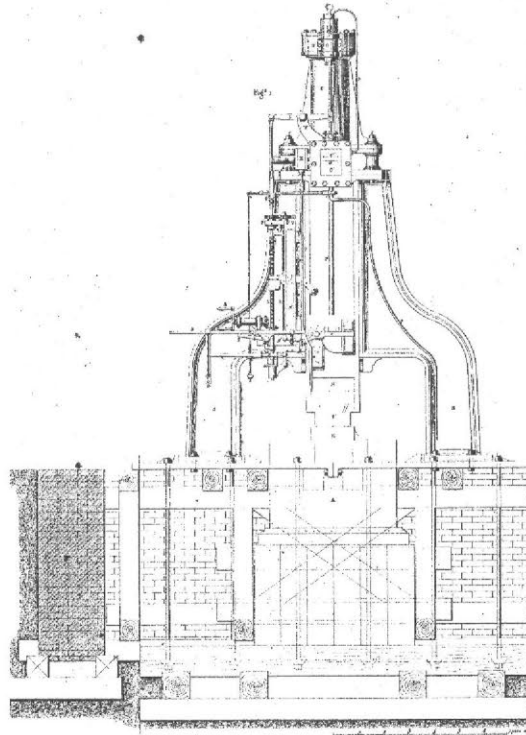


Figura 5. Martillo pilón.
Figure 5. Power hammer.

Este fenómeno obliga a proyectar y construir detalladamente la fundación de la máquina. La solución realizada consiste en anclar la máquina a una gran masa constituida por madera y obra de fábrica de ladrillo. Unos grandes pernos comprimen el conjunto, obteniendo de esta forma un bloque compacto

The solution consisted in anchoring the machine to a wooden and brick masonry bedplate, in turn compressed by huge bolts for greater compactness.

3.5 Trenes de laminación.

La operación de laminar consiste en la acción de deformar un metal por compresión continua, forzando el paso por entre dos cilindros o rodillos, de ejes paralelos y que giran en sentido contrario. Esta operación se realiza en caliente, con unas temperaturas comprendidas entre 800 °C y 1.250 °C.

3.5 Rolling trains.

Rolling consisted in deforming metal by pressing it between two cylinders or rollers with parallel axes, rotating in opposite directions. This operation was performed at temperatures ranging from 800 to 1250 °C.

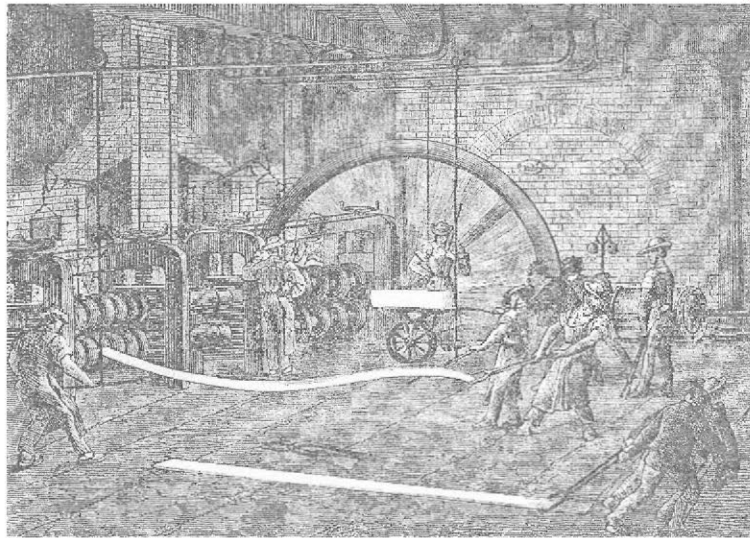


Figura 6. Tren de laminación en funcionamiento. Grabado de la Enciclopedia Popular Ilustrada. 1885.

Figure 6. Rolling train in operation. Illustration from the Enciclopedia Popular Ilustrada, 1885.

La fabricación de armamento demanda una gran cantidad de productos laminados y por tanto tendremos que disponer de 4 trenes de laminación:

- Tren forjador.
- Tren de chapa.
- Tren de estirado de hierros gruesos y carriles.
- Tren de estirado de hierros finos, y forjado más estirado de los cañones de las armas.

El tren forjador es un tren desbaste inicial, y por tanto todo el hierro proveniente de la forja va a ser sometido a esta primera laminación, obteniendo el denominado “desbaste” el cual va a pasar a los diferentes trenes de laminado en función del tipo de producto que de desee obtener.

4. Implantación de máquinas

Una de las partes fundamentales de la construcción industrial o arquitectura industrial, es la distribución de las máquinas, así como la interrelación que debe de existir entre ellas, y especialmente la relación hombre-máquina.

Since weapon manufacture called for large quantities of rolled products, the plant had four rolling trains:

- *Forging train.*
- *Sheet metal train.*
- *Drawing train for wide iron bars and rails.*
- *Train for drawing narrow iron bars and forging and drawing gun barrels.*

The forging train was an initial blooming train where the wrought iron was first rolled. The resulting “bloom” was subsequently run through one of the other rolling trains, depending on the end product desired.

4. Machinery layout.

One of the foremost chapters of industrial construction or architecture is machine layout, along with machine interrelationships and especially man-machine dynamics.

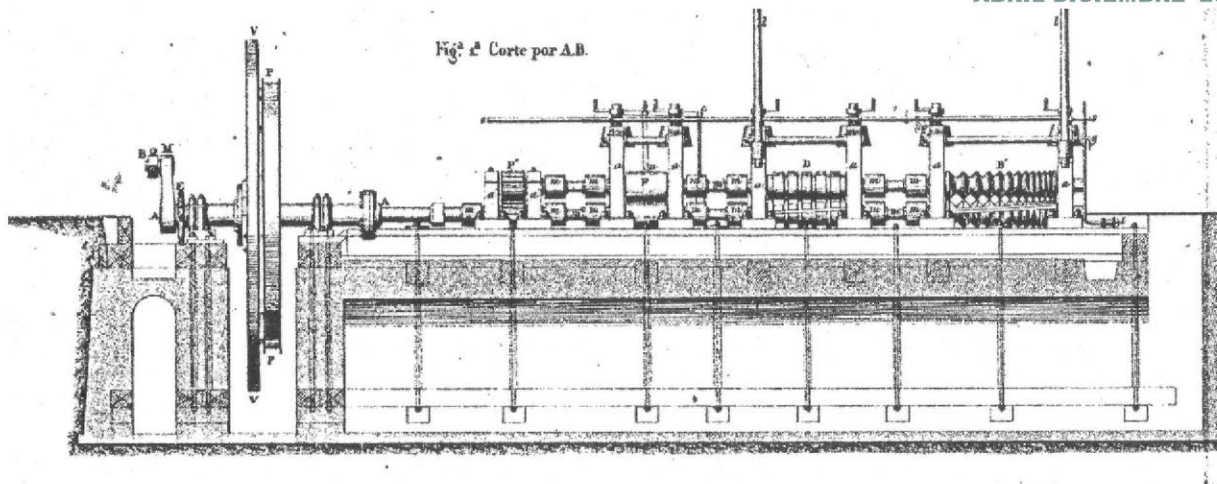


Figura 7. Tren de laminación.
Figure 7. Rolling train

4.1 Número de máquinas necesarias.

La producción anual del taller de hierro forjado, o *taller de cilindros* como también se le conocía, era aproximadamente de unos 48.000 quintales¹ de hierro de todas clases y carriles, además de 30.000 cañones de fusil o carabina rayada.

Para calcular el número de hornos requeridos por el proceso, podemos partir de la producción diaria de un horno, y estimando los días trabajados al año, llegamos a la conclusión que son necesarios 5 hornos de pudelar.

Respecto a la capacidad de producción del resto de la maquinaria, resulta interesante leer la publicación *Revista Minera* del año 1859, en la cual expresaba lo siguiente al respecto:

“Los productos del taller de cilindros de la fábrica de Trubia con los medios de fabricación de que en el día dispone, pueden ser aproximadamente de unos 48.000 quintales de hierros de todas clases y carriles, además de 30.000 cañones de fusil o carabina rayada; mas estos productos pueden aumentarse mucho con solo añadir algunos hornos de bola y recalentado sin variar por lo demás el material de fabricación existente”.

¹ Un quintal equivale a 50,8 Kg.

4.1 Number of machines needed.

The wrought iron or “roller” shop as it was called at the time had a yearly output of 48,000 quintales² of all types of iron and rails, in addition to 30,000 barrels for rifles or grooved barrel carbines.

The number of puddling furnaces needed, calculated by multiplying the number of business days in a year times the daily output per furnace, was found to be five.

An interesting article published in *Revista Minera* in 1859 had the following to say about the output of the rest of the machinery:

“With its present equipment, the roller shop at the Trubia armoury can produce approximately 48,000 quintales of all types of iron and rails, in addition to 30,000 barrels for rifles or grooved barrel carbines; but production could be increased substantially if a few more puddling and reheating furnaces were installed. This could be done with no need to supplement the rest of the existing equipment”.

¹ One quintal equals 50.8 kg.

4.2 Propuesta de Implantación (Layout).

Desde la perspectiva actual, la solución propuesta consiste en utilizar el sistema denominado *Implantación por Secciones*, también conocido por *Product Layout*.

Este sistema de implantación propone la agrupación por secciones de las máquinas de similares características. No se sigue una "línea" de fabricación, sino que por el contrario se transporta el material de una sección a otra, según sean las operaciones que deban de realizarse. Este sistema se utiliza cuando los volúmenes de fabricación de cada producto, no justifican la producción continua, así como siempre que se trate de fabricar productos en los que es bastante frecuente la diversidad, o los cambios en el volumen a producir.

Las secciones que aparecen en nuestro taller son las siguientes:

- Sección de hornos (hornos de pudelar, hornos de recalentar y afinería).
- Sección de forja (martillo pilón y squeezer o prensa de bolas).
- Sección de laminados (desbaste, chapa, gruesos y carriles, y, finos y cañones de fusil).
- Sección de corte (cizallas y sierras de disco).

Un primer resultado de esta disposición, es el permitir agrupar los diferentes conductos de salidas de humos, y por tanto, solamente necesitamos construir una chimenea común a todos los hornos.

Por otra parte, las instalaciones se distribuyen por todo el edificio mediante redes ortogonales. Así aparecen las tuberías de vapor y las tuberías de circulación de agua, con sus correspondientes bombas, alimentadas por vapor. Perimetralmente existe un canal de desagüe que recogería las evacuaciones de agua del sistema.

4.2 Proposed layout.

From today's perspective, the solution proposed consisted in what is known as the product layout system, in which machines of similar characteristics are clustered.

In such systems, there is no manufacturing "line": rather, material is moved from one section to the next, depending on the operations to be performed. It is the most appropriate approach when the output of each product is too small to justify assembly line production, or when the characteristics or volume of the goods manufactured change frequently.

The sections in this shop were defined as follows:

- *Furnace section (puddling, reheating and refining)*
- *Forging section (power hammer and squeezer or press)*
- *Rolling section (bloom, sheet metal, wide bars and rails, narrow bars and rifle barrels)*
- *Cutting section (shears and circular saws)*

One of the first consequences of this arrangement was that the smoke ducts and vents from all the furnaces could be channelled to a single common chimney.

Moreover, building services such as the steam and water pipes with their respective steam-powered pumps were arranged in orthogonal networks. A drainage canal around the entire perimeter collected all the water evacuated from the system.

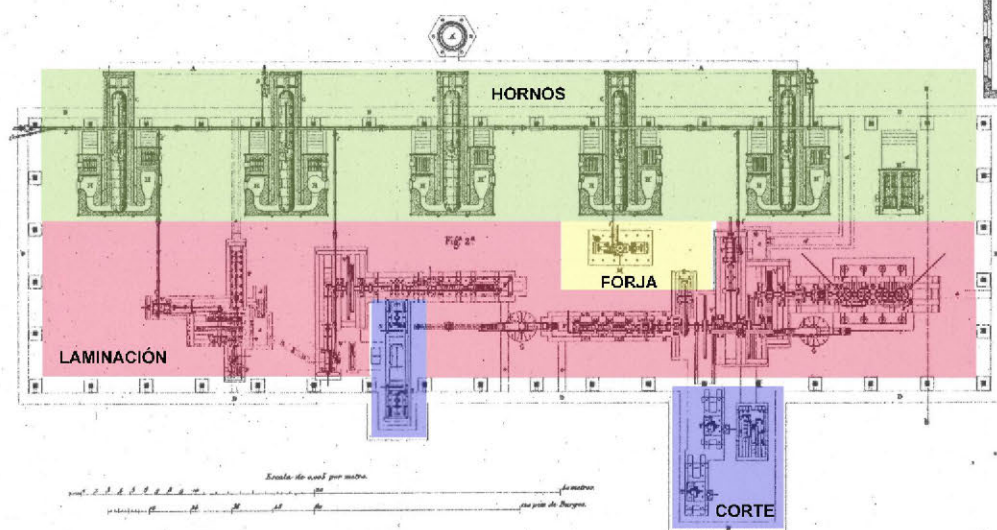


Figura 8. Plano de Implantación. Obsérvese las secciones: hornos, forja, laminación y corte.
Figure 8. Layout drawing showing the four sections: furnace, forging, rolling and cutting.

4.3 Estudio de circulaciones y recorridos

Para obtener una mayor ventaja a nuestro proceso productivo, las distancias recorridas deben ser mínimas, y no debe haber impedimentos a la circulación de los productos haciendo que ésta sea lo más fluida posible. Así pues la implantación presenta las siguientes características:

- La recepción de la materia prima (trozos de lingote) se puede realizar por todo el contorno exterior, disponiendo de gran espacio.
- Existe un gran espacio central libre y disponible para la circulación.
- Proximidad entre los elementos sobre los cuales se debe desplazar una mayor cantidad de toneladas de hierro.
- Los trenes de laminación no interrumpen las circulaciones, a pesar de necesitar importantes longitudes de laminado.

Entre los elementos de manutención disponemos de 2 grúas, que facilitan el movimiento de los productos más pesados. Además dispondremos de un número indeterminado de carretillas y demás elementos de manutención.

4.3 Study of pedestrian and product routes.

To ensure greater production efficiency, the distances travelled by workers should be kept to a minimum and product flows should not be obstructed. The plant layout was, in fact, designed to that rationale, as follows:

- *Raw materials (ingot fragments) could be received and stored anywhere in the spacious yard surrounding the shop.*
- *The building had a wide central passageway for pedestrian and product traffic.*
- *The various elements that handled many tonnes of iron were placed alongside one another.*
- *The rolling trains did not interfere with traffic, despite the long lengths of rolled product involved.*

The ancillary equipment included two cranes to move the heaviest products, in addition to an indeterminate number of wheelbarrows and other elements.

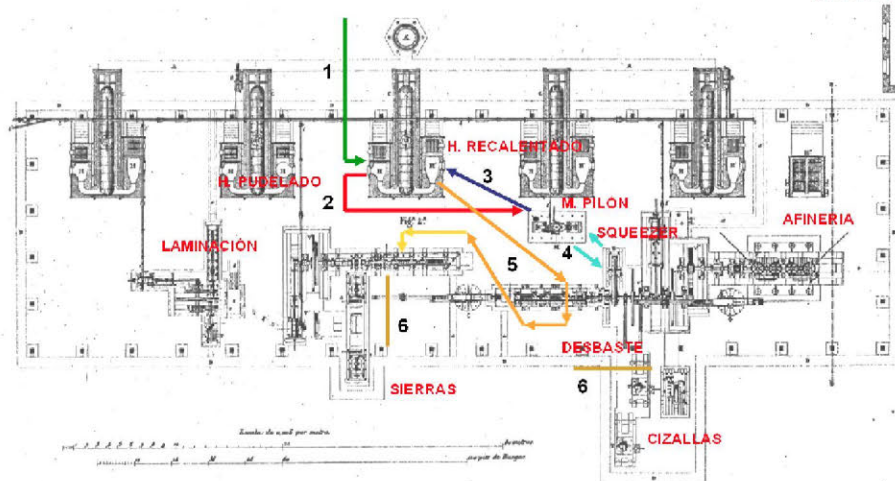


Figura 9. Circulaciones y recorridos para el caso de un solo horno de pudelar.
Figure 9. Pedestrian routes and product movement in the event of a single puddling furnace.

5. Envolvente del sistema productivo: el edificio.

Una vez realizado el estudio de implantación, llega el momento de realizar la *envolvente* al sistema productivo, así pues ahora y justo ahora, es cuando aparece el edificio. La edificación generada deberá ser un reflejo tanto de los requerimientos del proceso productivo, como de las necesidades de protección contra las inclemencias del tiempo.

5. Envelope for the production system: the building.

After defining plant needs, the next step was to provide an envelope for the production system, a building to house the facilities, covering production process requirements and providing protection from the elements.

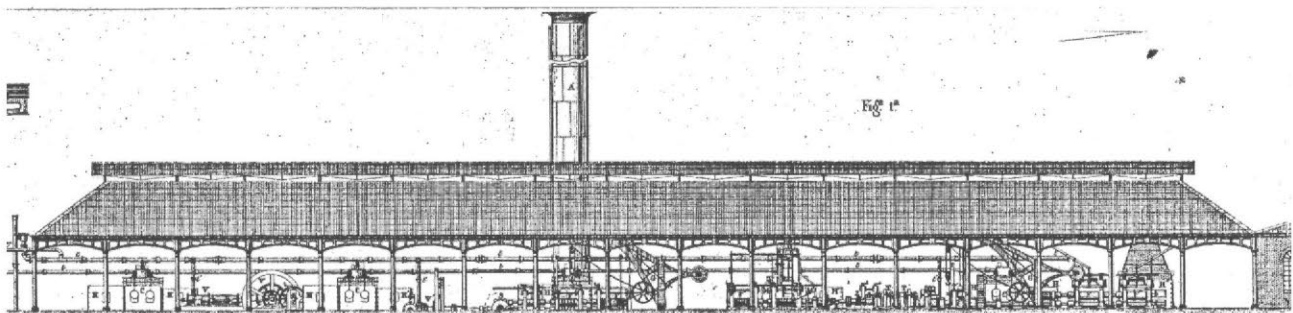


Figura 10. Vista longitudinal del taller de fabricación de hierro forjado.
Figure 10. Longitudinal view of the wrought iron shop.

Suele ser muy común utilizar, para la implantación de un sistema productivo siderúrgico, una planta rectangular, ya que esta forma geométrica presenta una serie de ventajas tales como:

The buildings used in iron works were generally designed to a rectangular floor plan, in light of the advantages this shape affords, namely:

- Fácil modulación.
- Permite construcción seriada.
- Económica.
- Buena adaptación al proceso productivo.
- Posibilidad de ampliación.

Podemos plantear el estudio proponiendo una solución inicial, referida a las posibles dimensiones de la planta, tomando un rectángulo de área mínima, que encierre a todas las máquinas. Aplicando este criterio, tendríamos que adoptar unas dimensiones de 78 metros de largo por 37 metros de ancho, para obtener una superficie construida de 2.886 m².

Sin embargo si estudiamos con una mayor profundidad el proceso productivo, podremos ahorrarnos algún espacio y además obtener algunas mejoras. Así pues, si observamos la figura 11, apreciamos que una parte de cada bloque, constituido por horno-caldera-horno, puede quedar fuera del recinto cubierto de la nave, debido a que esa parte no presenta ningún problema colocándose en el exterior. Además al sacar al exterior media caldera nos aseguramos de que el calor, irradiado por ésta, pase directamente al entorno exterior, evitando un mayor sobrecalentamiento en el interior del recinto, que ya de por sí dispone de bastantes fuentes de calor.

Por otro lado, las 3 cizallas y la sierra de disco, son máquinas que requieren grandes espacios, pero no por si mismas sino por los largos perfiles laminados que deben ser cortados. Tampoco resulta imprescindible que estén dentro del recinto, ya que esta tijeras son máquinas relativamente sencillas y no van a sufrir una degradación importante por estar a la intemperie, y por otro lado, las barras laminadas a cortar están ya conformadas y solamente requieren realizar cortes y despuntes, operación que no presenta ningún inconveniente realizarla fuera de la nave. Por tanto también se propone, que estas máquinas cortadoras, queden fuera de la edificación.

- *Ready divisibility into modules.*
- *Sequenced construction.*
- *Low cost.*
- *Adaptability to production processes.*
- *Enlargeability.*

Initially shop dimensions should be designed to occupy the smallest rectangular area able to house all the machinery. Under such an approach the building dimensions would be 78 by 37 metres, for a total built area of 2,866 m².

A closer study of the production process, however, would enable the designer to save space and make certain improvements. Figure 11 shows that part of each furnace-boiler-furnace unit were set outside the bay, for these components did not need to be under a roof. Moreover, by leaving part of the boiler outdoors, the heat irradiated was released directly into the surrounding yard, thereby avoiding further overheating in the bay, which received ample heat from other sources.

The three shears and the circular saw, in turn, also required vast amounts of space, not because of the size of the equipment itself but due to the extensive lengths of rolled products that had to be cut. These components did not necessarily have to be kept under a roof, either, for the shears were relatively simple, weather-resistant machines, while the rolled bars would have already been shaped and merely have had to be cut and trimmed, operations that could be performed outside the bay. Hence this shearing equipment was also installed out of doors.

Después de todas estas consideraciones, podremos reducir nuestro espacio a unas dimensiones de 78 X 22,6 metros, resultando una superficie construida de 1.762,8 m². Se puede apreciar una reducción considerable (2.886 - 1.762,81 = 1.123,19 m²).

In light of the foregoing, the space needed was reduced to 78 x 22.6 metres, i.e., a total area of 1,762.8 m², or 1,123.19 m² – nearly 39 per cent – less than the initial 2,886 m².

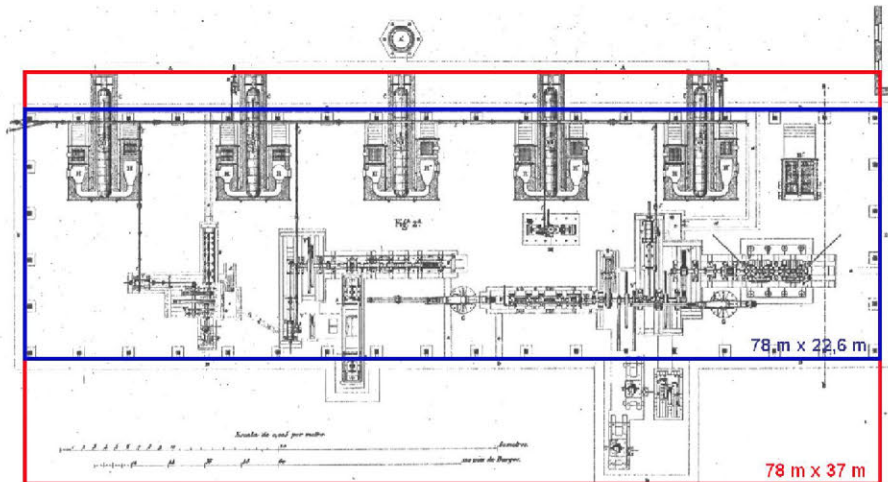


Figura 11. Dimensiones del taller.
Figure 11. Shop dimensions.

Respecto a la altura útil del edificio, ésta vendrá definida principalmente por la altura de trabajo de las grúas, y sabemos que estos elementos necesitan una altura mínima libre de 5 metros.

Una vez definidas las dimensiones de la planta y altura de la misma, pasamos a proyectar el tipo de estructura. El proceso productivo impone un gran espacio diáfano, y no parece razonable colocar hileras de columnas o pilastras en el interior de la nave, ya que impedirían una buena circulación de todos los productos semielaborados. Por tanto, nuestra nave debe de proyectarse con una luz de 22,6 m y la solución óptima para este gran espacio diáfano, nos la puede proporcionar las "nuevas" armaduras o cerchas metálicas. Otra ventaja que presentan estas armaduras, es la colocación de un *lucernario o linternón corrido* en la cumbrera de la cubierta, con el doble fin de dar luz al interior y sobre todo forzar la ventilación natural del sistema nave, característica de gran importancia en este caso.

The clear height of the building was determined by the working height of the cranes, in this case five metres.

With the building footprint and height thus defined, work could proceed on the structural design. Inasmuch as the production process required a large open plan area, it would have made little sense to position rows of columns or half-columns inside the bay that would have hindered the flow of semi-finished products. Consequently, the bay was designed with a 22.6-m span, for which "new" metallic trusses or reinforcements were deployed. Another advantage of these members was that they could accommodate a running skylight or roof light, which served a dual purpose: for interior lighting as well as natural ventilation in the bay, the latter of particularly importance in such plants.

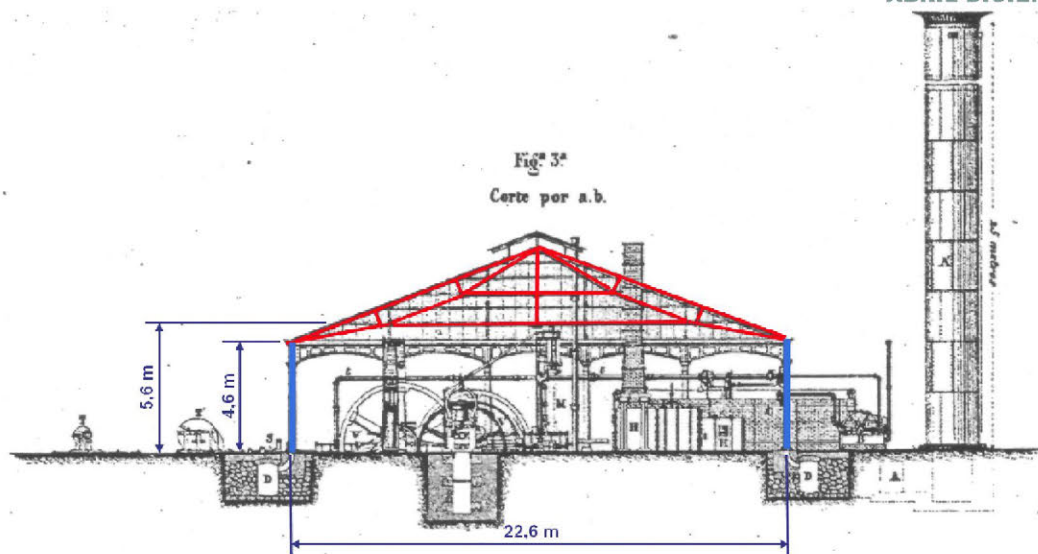


Figura 12. Sección transversal del taller de fabricación de hierro forjado.
Figure 12. Cross-section of the wrought iron shop.

La cercha utilizada es del tipo Polonceaux (propuesta en el año 1837) de doble tirante. Esta armadura presenta la peculiaridad de poder colocar el tirante a una altura superior a la del apoyo, consiguiendo de esta forma aumentar la altura disponible de la nave, sin tener que colocar columnas más altas. Como consecuencia de esto, ya no es necesario disponer de columnas o pilastras de la altura útil requerida por la grúa sino que podemos rebajar esta altura.

Las grúas requieren una altura mínima de 5 metros, que se pueden conseguir fácilmente con columnas de 4,60 metros de altura, si separamos ligeramente estos elementos de manutención de las esquinas.

Continuando con el diseño de la nave, ahora le llega el turno al tipo de soporte que se debería de colocar, para apoyar la cercha y en consecuencia aguantar todo el peso de la cubierta. Por requerimientos del proceso productivo, entre otras consideraciones, se imponía una gran facilidad de accesos y circulaciones con el exterior, esta característica nos está indicando claramente que el cerramiento del edificio debe reducirse a la mínima expresión, por tanto nos está sugiriendo la colocación de columnas de fundición.

A Polonceaux type double tie beam truss (patented in 1837) was used. With this type of reinforcement the tie beam could be positioned at a higher elevation than the support, thereby increasing the available height of the bay without having to build taller columns. As a result, neither columns nor half-columns had to be built to the full clear height required by the cranes.

The five metres required by this equipment could be readily attained with columns 4.60 metres high, provided they were positioned at a slight distance from the corners.

The next step in bay design was to determine the type of support to be used to bear the trusses and consequently the full weight of the roof. Production process requirements along with other considerations necessitated a large number of indoor-outdoor accesses for pedestrian traffic. This, in turn, meant that the building enclosure would have to be as brief as possible and supported, therefore, by cast iron columns.

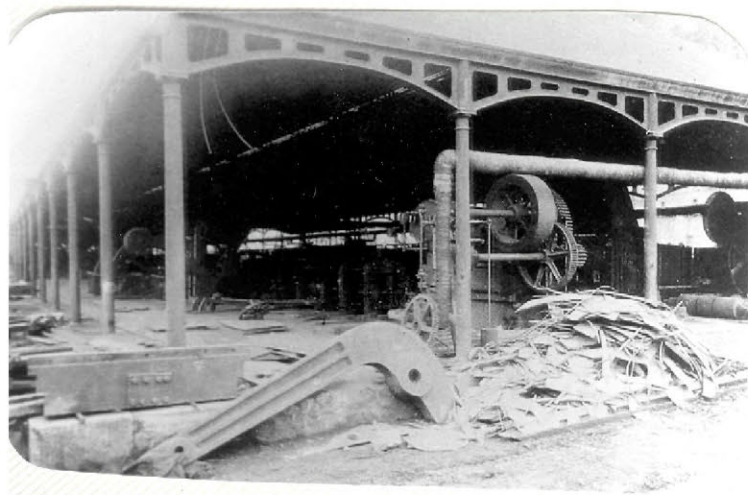


Figura 13. Vista del taller de hierro forjado.
Figure 13. View of the wrought iron shop.

Así pues el tipo estructural va a estar constituido por columnas de fundición y cercha metálica. Si repetimos n-veces este tipo estructural obtendremos la estructura primaria de la nave. Este esqueleto portante totalmente metálico, supone un gran avance tecnológico, respecto a los tipos estructurales tradicionales (con muros de carga y cuchillos de madera), manifestándose este avance en el mejor aprovechamiento de los materiales, facilidad de montaje, economía, rapidez, producción seriada, etc. Este concepto sigue muy vigente en la actualidad.

En el año 1.851 se celebró la Exposición Universal de Londres, en la cual Joseph Paxton asombró al mundo con su Palacio de Cristal, cuya característica principal consistía una estructura metálica recubierta por vidrio. Pues bien nuestro taller, 2 años después de esta celebración, también presenta una "revolucionaria" estructura metálica, apreciándose claramente la utilización de una tecnología de vanguardia para esta construcción.

La orientación de nuestro taller también está estudiada. Lógicamente los mayores focos de calor, los hornos, deben de colocarse en la fachada norte; ¿pueden imaginarse el trabajo de los pudeladores en pleno verano, situando los hornos en la fachada sur?

The bay, then, was to be built with "n" cast iron columns and metal trusses, distributed along its entire length to form its primary structure. This completely metallic skeleton constituted a major technological advance with respect to traditional structures (with bearing walls and wooden trusses) and entailed more efficient use of materials, easy assembly, savings in time and money, serial production and so forth. These premises continue to be valid today.

At the 1851 Great Exhibition held in London, Joseph Paxton astonished the world with his Crystal Palace made of sheet glass and iron. This shop, built two years after that event, also exhibited a "revolutionary" iron structure, with construction techniques that drew from indisputably avant garde technology.

Shop orientation was also carefully studied. The furnaces, the main source of heat, were logically positioned on the north facade. What would the rabblers' work have been like in the summertime, had they been set on the south side of the structure?

La aireación o ventilación natural queda garantizada por una corriente de convección natural de aire. Así, se produce una entrada del flujo de aire, a través de los laterales, y al recibir una gran cantidad de calor del proceso siderúrgico, este aire reacciona disminuyendo su densidad y comenzando a elevarse por el techo hasta que encuentra la salida por el linternón corrido, evacuando de esta forma una gran cantidad de calor y haciendo que las condiciones de trabajo sean más confortables, dentro de lo posible. Es interesante resaltar que también se renueva el aire del recinto de una manera natural, sin necesidad de colocar ningún sistema adicional.

Venting was assured by natural convection: the air flowing in from the open sides of the building was heated by the furnaces, with a concomitant decline in density. As it rose to the ceiling and exited through the skylight, it carried huge quantities of heat with it, providing for more comfortable working conditions, relatively speaking. The air inside the shop was therefore renewed naturally, with no need for any additional system.

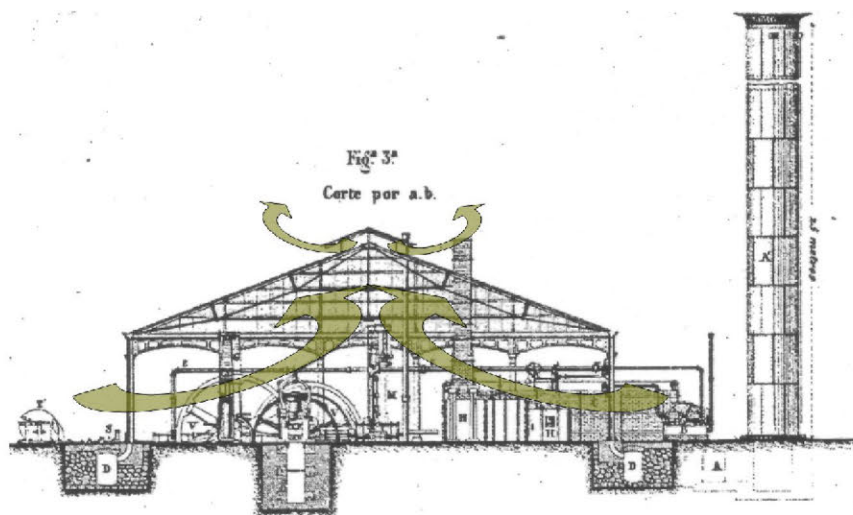


Figura 14. Sistema de ventilación.
Figure 14. Ventilation system.

La necesidad una buena iluminación requiere del aprovechamiento máximo de la luz natural, y por tanto el diseño del edificio debe ser muy sensible a este requerimiento. Así la iluminación interior, la obtendremos a través del lucernario central, y de los laterales abiertos. El edificio se presenta sin cerramientos, permitiendo que las hileras de columnas dejen pasar la mayor cantidad de luz al interior. Además disponemos de otra ayuda para aumentar la entrada de luz, que nos viene proporcionada por la forma de las vigas riostras entre columnas, al presentar una curvatura y un alma diáfana, permitiendo una mayor captación de luz en la parte más alta del lateral.

To ensure good lighting, the building had to be designed to make efficient use of daylight. Light for the interiors was provided by the central skylight and the openings on the sides of the bay. Since the bay had no walls, the interior was flooded with light streaming in from the empty spaces between columns. The amount of light was further enhanced by the inter-column bridging joists, which were curved and had an open web to better capture the light in the uppermost part of the structure.



Figura 15. Interior del taller.
Figure 15. Shop interiors.

El ruido es otro factor a considerar, lógicamente el martillo pilón producirá una serie de golpeteos que siempre serán muy molestos. Al tener un edificio abierto sin paredes laterales, las reverberaciones serán menores y por tanto se disminuirá el nivel de ruido en el interior, aportando un mayor confort a los trabajadores.

Un buen taller de laminación debe de disponer de una solera, apta para soportar grandes pesos, proporcionar una buena circulación de carretillas, ser resistente al rozamiento y aguantar grandes temperaturas. No se dispone de mucha información al respecto pero si parece que se tuvo en cuenta, ya que al observar la figura 15 puede apreciarse una solera constituida por losas rectangulares, con geometría precisa y con superficie muy plana. Por otro lado, las cimentaciones de máquinas aparecen minuciosamente especificadas, aportando un rigor técnico digno del conjunto de la planta.

La recogida de las aguas pluviales tampoco queda desatendida, así si observamos la figura 16 podemos apreciar que nuestras columnas soporte, también van a realizar funciones de bajantes de pluviales. La red de desagües está constituida por un colector perimetral al taller, que entronca con el colector general del establecimiento, el cual a su vez, vierte las aguas al río Trubia.

Noise was another factor to be considered. The inevitable impact of the power hammer would naturally have been very annoying. An open structure with no lateral walls would ensure lower reverberation and less noise inside, making the working environment more comfortable.

A rolling mill would need a low friction floorbed able to withstand enormous weight and very high temperatures and maintain a smooth surface for wheelbarrow traffic. While little information is available in this regard, these considerations appear to have been taken into account, for as Figure 15 shows, the floor comprised flat, rectangular slabs of very precise geometry. In addition, highly detailed specifications were provided for the machine foundations, in keeping with the technical rigour of the overall design.

Rainwater evacuation was another issue addressed: Figure 16 shows that the columns also served as downpipes. The collection system consisted in a drain running around the entire perimeter of the shop that emptied into the facility's main collection pipe, itself flowing into the Trubia River.

En periodos de lluvia, el edificio al no disponer de cerramientos verticales, presentaría alguna deficiencia de protección contra las inclemencias del tiempo. Así aparece el inconveniente del viento impulsando los goterones de agua hacia el interior del taller, produciendo efectos no deseados, tanto en el confort de los trabajadores como en las labores productivas. La solución consiste en utilizar canalones que viertan el agua de lluvia por unos bajantes. Estos bajantes van a ser las mismas columnas huecas de fundición que sustentan el edificio.

In rainy weather, this wall-less building would afford little protection against the elements, particularly wind-driven rain, with the attendant drawbacks in terms of worker comfort and interference with production. The solution was to install gutters that spilled storm water into downpipes. The latter were none other than the hollow columns that supported the structure.

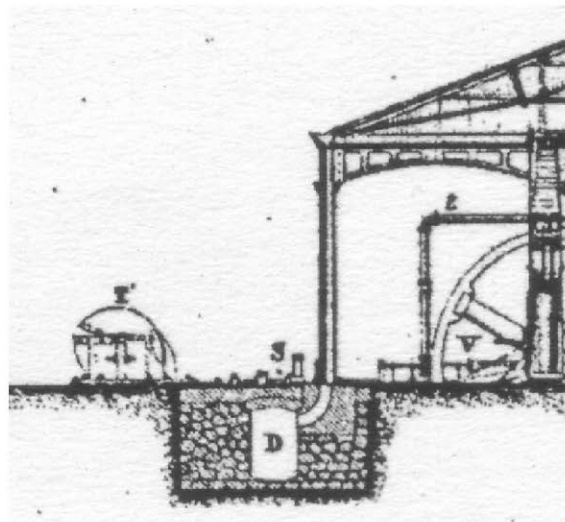


Figura 16. Columnas bajantes de pluviales y drenajes.
Figure 16. Column-downpipes and drainage.

También resulta interesante apreciar el drenaje perimetral que presenta nuestro taller. Este drenaje evita la formación de charcos y filtraciones de agua en todo el perímetro del edificio. Sabemos que los accesos al exterior van a ser muy utilizados, y por tanto la posible acumulación de agua formaría charcos que dificultarían enormemente las circulaciones con pesadas carretillas, es por tanto importante evitar estas formaciones con la colocación de un sistema de drenaje.

Además, no podemos olvidar que las posibles filtraciones de agua de lluvia podrían afectar a las fundaciones de las máquinas, o a la aparición de humedades en la solera, efectos sin duda indeseados.

The drainage around the perimeter of the shop was also well engineered. It prevented puddles and leaks from forming anywhere in the structure. If puddles were to form around the profusely used inside-outside accesses, they would have been a considerable hindrance to the circulation of heavy carts or wheelbarrows.

Hence the importance of a good drainage system to prevent their appearance. Leakage, moreover, would have affected the machinery foundations and damp on the floorbed would also have generated undesirable effects.

La posibilidad de ampliación, es una característica fundamental de la arquitectura industrial, y por tanto nuestro taller no permanece ajeno a este requisito. Así si tuviésemos que colocar más hornos (según las referencias vistas anteriormente), observamos que resulta fácil seguir colocando, algún conjunto (horno+caldera+horno) más, en la misma sección de hornos, y luego incorporar las cerchas y columnas necesarias para albergar las nuevas instalaciones incorporadas.

Finalmente aparece el concepto de seguridad, de tanta importancia en la actualidad; pues bien, no es un tema descuidado en nuestro taller. Si observamos la figura 17 observaremos una barandilla metálica de protección, que circunda los grandes volantes de inercia, elementos de gran peligrosidad debido al movimiento de sus grandes piezas.

The ability to enlarge facilities is a key feature in industrial architecture, and this shop was no exception to that rule. If further furnaces had been required, for instance (as intimated in the above references), the inclusion of new units (furnace+boiler+furnace) in the furnace section and the construction of columns and trusses to cover them would have been relatively straightforward.

One final issue, safety, one of today's major concerns, was not neglected in this shop, either. Figure 17 shows that a protective railing was built around all the flywheels, due to the hazard created by the motion of their large component parts.

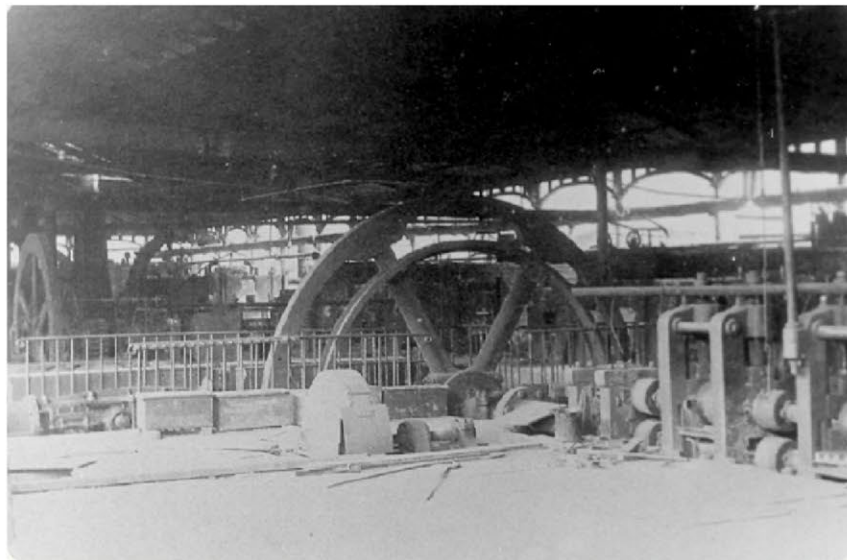


Figura 17. Obsérvense los rodillos de laminación y los volantes de inercia con barandilla de protección.
Figure 17. Protective railings around rollers and flywheels.

Epílogo.

Estamos intentando comprobar si éste es el primer edificio, con estructura totalmente metálica, que se construyó en España. Si algún lector tiene alguna referencia o conocimiento al respecto, le rogaríamos que nos lo comunicase. (angel@constru.uniovi.es).

Epilogue.

The authors are attempting to determine whether this was the first building with an entirely metallic structure to have been erected in Spain. Readers with any reference or knowledge in this regard are kindly requested to forward it to: angel@constru.uniovi.es.