

## **El estudio de los sistemas constructivos como método de conservación del patrimonio industrial de Granada**

*Construction systems study as a method for conservation of Granada industrial Heritage*



### **Agustín Castillo Martínez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Estudiante de doctorado. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería de la Universidad de Granada

### **Resumen**

La industria del azúcar de remolacha llevó la iniciativa en el principal proceso de generación de tejido industrial que se produjo en la provincia de Granada entre los años 1882 y 1929. Un estudio completo desde el punto de vista ingenieril y arquitectónico de la historia de este patrimonio industrial debe comprender la investigación de todas las actividades llevadas a cabo para su ejecución: diseño, proyecto, suministro de materiales y ejecución. Los objetivos de la presente comunicación incluyen la documentación y digitalización de proyectos, el análisis de los sistemas constructivos y la caracterización de los materiales utilizados en la industria azucarera granadina de finales del XIX y principios del XX.

**Palabras clave:** Patrimonio industrial. Granada. Industria del azúcar. Sistemas constructivos. Materiales de construcción.

### **Abstract**

Beet sugar industry led the main industrial grid generation developed in the province of Granada between 1882 and 1929. A complete engineering and architectural study of the history of this industrial Heritage must include the investigation of the whole construction process – design, project, materials supply and formal execution. The objectives of this paper are the documentation and digitization of projects, the analysis of construction systems, and the characterization of the materials used in the construction of the Granada sugar industry in the last years of the 19th century and the beginning of the 20th.

**Keywords:** Industrial Heritage. Granada. Sugar industry. Constructive systems. Construction materials.



### **Agustín Castillo Martínez**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Granada. Estudiante del programa de doctorado “Expresión Gráfica, Cartografía y Proyecto Urbano” del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería de la UGR.

Consultor en materia hidráulica y estructural, ha dedicado su labor de investigación al campo de la Historia de la Construcción, colaborando con la Fundación Patrimonio Industrial de Andalucía. Ha realizado multitud de ponencias en defensa del patrimonio industrial, siendo las principales las correspondientes al VI Congreso Nacional de Historia de la Construcción (Valencia, 2009) y el V Congreso Internacional de Historia de la Construcción (Chicago, 2015).

Es coautor del libro “Los Tranvías Históricos de Granada”, publicado en 2014.

Contacto: [agustincastillomartinez@gmail.com](mailto:agustincastillomartinez@gmail.com)

85

### **Agradecimientos**

Agradecemos al profesor de la Universidad de Granada, D. Miguel Giménez Yanguas, su colaboración en esta línea de investigación, al haber suministrado numerosa información de su biblioteca privada para la consecución de la mayor parte de los presentes trabajos.

Elevamos nuestro agradecimiento, igualmente, a la Biblioteca de la Universidad de Granada, y a la Biblioteca de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, por su colaboración en la digitalización de gran cantidad de material relacionado con esta línea de investigación.

## 1.- Introducción

La industria moderna del azúcar de remolacha en España nace en la Vega de Granada en 1882, y se sitúa en una posición de preeminencia en la industria de carácter local hasta 1929, prolongando su actividad hasta la campaña 1983-1984. En esta fecha cierra sus puertas la última expresión de esta actividad manufacturera, la Fábrica de San Isidro (1901-1984). La mayor parte de los diseños industriales de estos recintos, así como de los creados para el procesamiento de caña de azúcar en el litoral, procedían de Francia o Alemania, y causaron gran impacto económico y social en las comarcas que las albergaron.

Como casos de estudio más significativos, se citan las Azucareras de San Isidro (1901) y del Ingenio de San Juan (1882), en Granada, y la Azucarera de Nuestra Señora del Pilar, en Motril (1883). Otras azucareras de gran interés desde el punto de vista del patrimonio histórico industrial de Granada son las de La Purísima Concepción, también conocida como «Azucarera del Genil», que se encuentra emplazada junto al llamado Puente de los Vados, y que estuvo operativa desde 1905 hasta 1946; y la Azucarera del Señor de la Salud, situada en Santa Fe, y que realizó trabajos entre los años 1890 y 1911. Uno de los más antiguos vestigios de la industria del azúcar de caña en la provincia de Granada lo encontramos en Salobreña, donde en 1861 comenzó a funcionar la Azucarera de Nuestra Señora del Rosario. Con anterioridad, en Almuñécar, había comenzado a funcionar en 1845 la Azucarera Peninsular, emplazada en la Playa de San Cristóbal.

Durante el estudio de los sistemas constructivos empleados por los técnicos españoles de finales del XIX y principios del XX, se ha comprobado la utilidad de las metodologías de digitalización de fuentes iconográficas, así como la puesta en valor de este método como técnica de conservación del patrimonio. De este modo, no sólo se obtienen réplicas fácilmente almacenables y transmisibles del patrimonio desde el punto figurativo y técnico, sino que se facilita todo un proceso de identificación histórica sobre su origen tecnológico y social.

En un magnífico estudio sobre la metodología a emplear en el estudio de la arquitectura industrial, Julián Sobrino divide las fuentes válidas a emplear por el investigador en escritas, cartográficas, orales e iconográficas. Así, tras la digitalización de estas últimas -atlas gráficos de época, proyectos originales y réplicas fotográficas o cinematográficas-, se pueden identificar sistemas constructivos ya en desuso o que actualmente tendrían escasa justificación tecnológica. Esto facilita el estudio de los mismos de cara a posibles proyectos de rehabilitación, como el que se ha llevado a cabo en la Fábrica Nuestra Señora del Pilar, en Motril, o simplemente proporciona una mejor comprensión técnica de una serie de construcciones cuya protección y estudio deben tener carácter primordial.

Tras el análisis de los sistemas constructivos, y de una breve descripción de los procesos industriales del azúcar y su maquinaria, procederemos a un estudio de caracterización de los materiales utilizados en los mismos. Dada la dificultad evidente de obtener una gran cantidad de muestras para los ensayos de ciencia de materiales, usualmente destructivos en su concepción, el número de las mismas ha resultado muy reducido desde el punto de vista de los modernos procesos de control de calidad. Sin embargo, hemos adoptado el criterio de utilizar tan sólo las muestras que cumplan completamente

con los criterios de las normas UNE que rigen dichos ensayos, prefiriendo obtener un menor número de resultados, aunque con contrastada fiabilidad.

De este modo, se han desechado varias muestras cerámicas correspondientes a los muros de carga, bien porque no cumplían las cualidades geométricas exigidas en los ensayos, bien porque el paso del tiempo no ha permitido la elaboración de probetas adecuadas a la normativa UNE que rige los ensayos cerámicos actuales. La obtención de piezas de aceros y fundición ha sido muy limitada; aún así, creemos que los resultados obtenidos, por su novedad, resultan de gran interés para el conocimiento de la conservación y posibles métodos de restauración de las edificaciones del patrimonio industrial.

El resumen de estas metodologías pretende proporcionar un conocimiento amplio y de conjunto del espacio industrial, de modo que su conservación o rehabilitación resulte más sencilla por parte de los técnicos encargados de su mantenimiento o del proyecto de restauración. Aunque el conocimiento técnico, estructural y de los materiales ya representa, en sí, un valor de cara a la conservación del patrimonio, destacaremos varias conclusiones enfocadas específicamente a la labor del rehabilitador de estos entornos industriales.

Ya que la mayor parte de las referencias comparativas se llevarán a cabo a través del caso de estudio de la Fábrica de San Isidro, en Granada, como ejemplo paradigmático de patrimonio histórico de carácter industrial, citaremos a continuación una breve descripción de la misma desde el punto de vista técnico y de la actividad económica y social que desempeñó durante varias décadas.

87

## **2.- La fábrica de San Isidro (Granada)**

La Azucarera de San Isidro estuvo en funcionamiento entre los años 1901 y 1983. Está emplazada en el actual barrio de La Bobadilla de Granada, y llegó a tener una capacidad máxima de procesamiento de 1.000 toneladas de remolacha al día, conservándose en la actualidad íntegramente los edificios.

La fábrica llegó a albergar casi 600 trabajadores, repartidos en tres turnos de trabajo continuado, lo que generó el desarrollo de una pequeña aldea de servicios alrededor del recinto. Ésta acabó teniendo parada de tranvía y, posteriormente, de autobús, al encontrarse situado en la antigua Carretera de Málaga.

La estructura en planta presenta una distribución en anchura de cuatro vanos de longitudes variables, siendo estas, de Oeste a Este, de 4,00 m, 4,10 m, 4,20 m y 4,80 m, medidas entre centros de pilares. La distancia longitudinal, en dirección Norte-Sur, entre los pilares es constante e igual a 5 m.

La distribución del edificio en altura presenta tres plantas más planta baja, donde se ubicaban las turbinas de la fábrica. Por encima de la planta de turbinas se ubicaba la planta de maquinaria de malaxadores, íntimamente relacionada por medios mecánicos con la planta de turbinas. La maquinaria se encontraba conectada a través de diversos huecos aún visibles en el forjado del primer piso. La segunda planta era el almacén de azúcar, y la tercera, de reducidas dimensiones en planta, estaba dedicada a albergar los depósitos de agua.

Desde el punto de vista estructural, se advierte de forma inmediata que las dimensiones en planta de la fábrica original, puesta en marcha en 1901, eran muy inferiores a las existentes actualmente, habiéndose producido a lo largo del siglo XX diversas ampliaciones, que pueden notarse por los distintos tipos estructurales utilizados a la hora de resolver las ampliaciones, encaminadas al aumento en la producción de la fábrica. Así, en 1917 se ejecuta nave para secadero y almacenes de pulpa bajo la dirección del arquitecto D. José Felipe Giménez Lacal. En 1924 se realiza proyecto de ampliación del proceso industrial, bajo la supervisión del ingeniero D. Miguel Giménez Lacal.

De esta forma, los pilares huecos originales son cilíndricos y de fundición, reforzados con capiteles y basas para el correcto reposo de las vigas; los pilares de las ampliaciones, por el contrario, son de perfiles de acero laminado en forma de «U» empresillados para garantizar la integridad estructural y servir de refuerzo. También puede observarse, en el primer caso, los capiteles de fundición que soportan vigas laminadas de doble T de ala estrecha, capiteles que poseen clara influencia estética de la arquitectura clásica.

El radio de los pilares en su punto más estrecho es de 13,2 cm, siendo su circunferencia de 83 cm. Los muros de carga son de 70 y 80 cm de espesor respectivamente, estando reforzados por contrafuertes de 50 cm de espesor.

En la planta de turbinas, las alturas se distribuyen como sigue: como cimentación, grandes bloques de forma cúbica de 60 cm de lado; altura del pilar de fundición, igual a 3,80 m, incluyendo los 40 cm del capitel; 30 cm de altura de las jácenas apoyadas sobre los pilares; y, por último, 20 cm de los forjados, cuya tipología era conocida como «de bovedillas de revoltón» o «bovedilla curva». Este tipo de forjado era ejecutado por medio de rasillas unidas con cemento, y extendiendo sobre ellas la capa de compresión de hormigón. Esta capa no incluía armadura alguna, por lo que se ejecutaba con gran espesor.

Las citadas jácenas tienen 30 cm de altura y 15 cm de medida de anchura de ala. Las cerchas que sostienen la cubierta son dobles, de 5 cm de ancho y 5 mm de espesor, y se encuentran separadas 4,30 m en dirección longitudinal.

### **3.- Estudio del proyecto. Metodología de conservación del Patrimonio a través de la digitalización**

En nuestra investigación, para la digitalización de documentos se han empleado escáneres ópticos de tamaño adecuado, necesitándose en muchas ocasiones aparatos de tamaños especiales y poco usuales, sobre todo, en el caso de planos antiguos.

El caso usual, para soportes de papel bien conservados, consiste en el almacenamiento en formato TIFF (sin compresión) de las imágenes, con una resolución óptica de 300 puntos por pulgada. Ya que muchas de estas imágenes han de tener suficiente resolución para su posterior impresión, se desaconseja utilizar resoluciones inferiores a los 200 puntos por pulgada, y evitar algunas compresiones tipo JPEG, PNG o similares, que disminuyen la calidad de cara a la impresión adecuada en papel.

Los ajustes al contraste o al factor gamma han sido necesarios en papeles de tipo especial, como los de tipo vegetal, muy transparentes, o en aquellos especialmente oscuros, como los de color azul intenso sensibilizados con ferropirusiato de potasa, muy común en los planos de los proyectos de la época.

En otros casos, sobre todo de manuales del siglo XIX, no se ha considerado oportuna su digitalización por medio de escáneres, ya que el estado de conservación del papel hacía desaconsejar su manipulación por medio de este tipo de aparatos. En estas ocasiones se ha recurrido a réplicas fotográficas digitales de los citados manuales, atlas y proyectos.

La importancia de la digitalización de documentos gráficos de cara a la investigación, ha resultado ser, por lo tanto, incluso mayor de la esperada. La sensibilización sobre esta materia entre los responsables de las bibliotecas y archivos de documentación delicada o simplemente antigua es de importancia capital; en la actualidad, muchas de las bibliotecas de nuestras universidades colaboran de forma eficiente con esta importante labor de investigación.

En el siguiente apartado, se procederá a realizar un ejemplo conciso de la labor comparativa y de identificación, para finalmente llegar a una serie de conclusiones razonadas sobre tipologías técnicas. Para ello, se ordenará numéricamente el proceso de identificación de sistemas, tipologías y materiales constructivos, citando las fuentes de procedencia de los documentos y una primera valoración de la comparativa y su utilidad en el campo de la técnica. El ingeniero o arquitecto que dedique su actividad habitual a la rehabilitación de espacios industriales que formen parte del patrimonio histórico de finales del XIX encontrará de gran utilidad esta metodología de conservación del conocimiento.

89

#### 4.- Análisis tipológico



Ilustración 01. Fábrica de S. Isidro en 1903, dos años después de su apertura. Fuente: Colección M. J. P. Choín.





Ilustración 02. Estado actual (2008) de la Fábrica de San Isidro. Fuente: Elaboración propia.

Las ilustraciones 1 y 2 muestran el estado de la fábrica de San Isidro en 1903, es decir, dos años después de su apertura, frente al estado reciente (2008), donde se aprecian las sucesivas ampliaciones realizadas que hemos referido anteriormente, y que se ejecutaron en la década de los 30, con mejoras posteriores en la de los 50. Éstas últimas fueron ejecutadas mediante diversos refuerzos estructurales que hubieron de añadirse con motivo de los daños causados por el terremoto de Albolote (19 de abril de 1956), así como en el edificio anexo de la fábrica alcohólica. Entre otras mejoras ejecutadas con posterioridad, la fábrica disfrutó de estación propia del tranvía para carga y descarga de las mercancías.

90

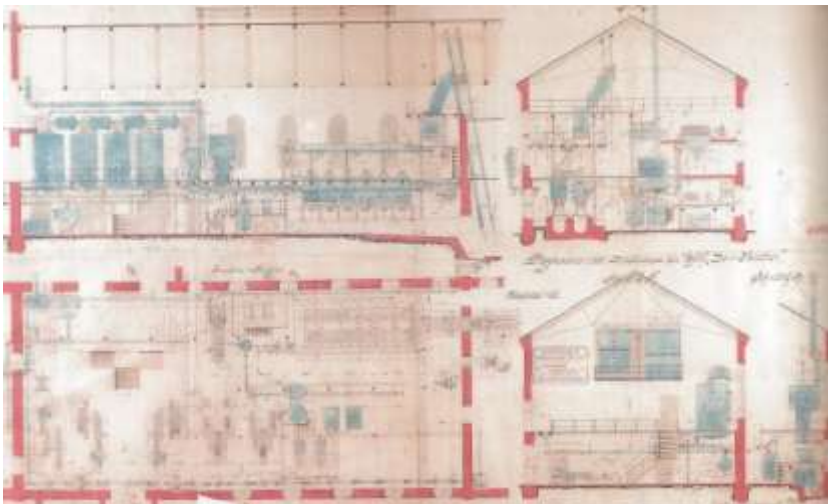


Ilustración 03. Plano de planta, sección longitudinal y secciones transversales del proyecto original de la Fábrica de San Isidro (1901). Fuente: Colección Privada M. Giménez Yanguas.

En la ilustración 3 podemos ver un plano original de planta, sección longitudinal y dos secciones transversales de la fábrica de San Isidro (1901), tal y como fue diseñado por

los ingenieros de la compañía alemana Braunschweigische Maschinenbu-Anstalt (también conocida como “B. M. A.”). De su estudio, podemos conocer que, tal y como puede verse en las secciones transversales, la cubierta de la fábrica fue diseñada utilizando cerchas de madera, mientras que la ejecución se realizó finalmente mediante cerchas metálicas.

Esta decisión técnica de la dirección de la obra estaba sin embargo en el espíritu de los técnicos europeos de principios del XX, que en los prontuarios técnicos agrupaban usualmente en el mismo capítulo el diseño en madera y en acero estructural. Estas tendencias pueden comprobarse en manuales como el que redactó el ingeniero militar Marvá Mayer en 1916, y que se cita en el apartado bibliográfico como “Mecánica aplicada a las construcciones”.

El proceso industrial de la extracción del jugo de sacarosa, como podemos observar en el plano, anotado en alemán, ya en 1901 era conocido como “difusión”. Podemos advertir igualmente en el diseño que se proyectó inicialmente un sistema de doble ciclo difusor mediante ósmosis, cuyo objetivo era agotar la extracción del contenido de sacarosa de los jugos mediante sucesivos procesos osmóticos. La dirección decidió finalmente instalar un sistema triple, hecho que difiere del diseño original. Esta tecnología, propia de la industria del azúcar de remolacha, también fue añadida a la molturación de la caña de azúcar en distintas fábricas de la costa, con el objetivo de aumentar los rendimientos industriales de la extracción de la sacarosa de los jugos; uno de sus primeros promotores en este sentido fue el primer Marqués de Larios, que comenzó a añadir el proceso en varias instalaciones fabriles de la costa granadina y malagueña a partir de 1870.

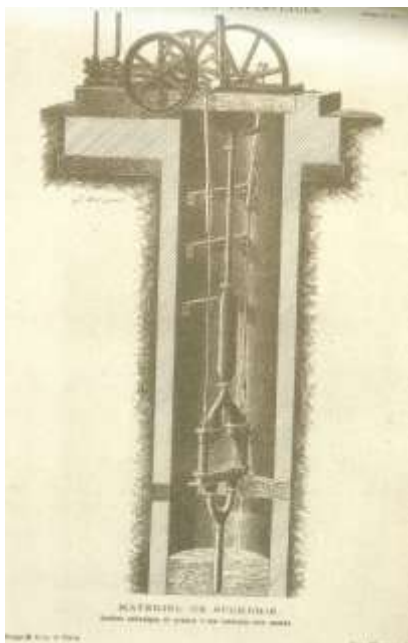


Ilustración 04. Maquinaria industrial azucarera. Fuente: Compagnie de Fives-Lille pour Constructions Mécaniques et Entreprises: Catálogo.

En las ilustración 4 podemos ver maquinaria industrial azucarera del catálogo de la compañía Fives-Lille. Vemos cómo muchos de estos primitivos dispositivos eran muy voluminosos, necesitando obras de fábrica de ladrillo accesorias o incluso ser instaladas en distintos niveles a través de huecos en el forjado. Estos condicionantes estructurales



podemos observarlos en su estado actual (ilustración 5, 2008), donde se advierte con claridad el condicionamiento de los tipos estructurales para la instalación y correcto funcionamiento de la maquinaria. Si bien en nuestro caso la compañía suministradora no fue Fives-Lille, sino B.M.A., resulta muy representativo el ejemplo extraído del catálogo, al ser ésta la suministradora industrial más común en la industria azucarera de la provincia granadina.



Ilustración 05. Estado actual (2008) del forjado de la Fábrica de San Isidro. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, las chimeneas de las fábricas de la revolución industrial se han convertido en auténticos iconos de la estética asociada al patrimonio de carácter industrial, muchos de cuyos ejemplos se encuentran en España. Originalmente, se construían mediante fábrica de ladrillo, como es el caso de la fábrica de San Isidro, y se pueden encontrar indicaciones para esta difícil factura en los atlas de la época. Posteriormente, se ejecutaron en hormigón, como en el caso de la Fábrica de Nuestra Señora del Pilar (Motril), e incluso de factura metálica en otros lugares, usualmente ejecutadas en fundición.

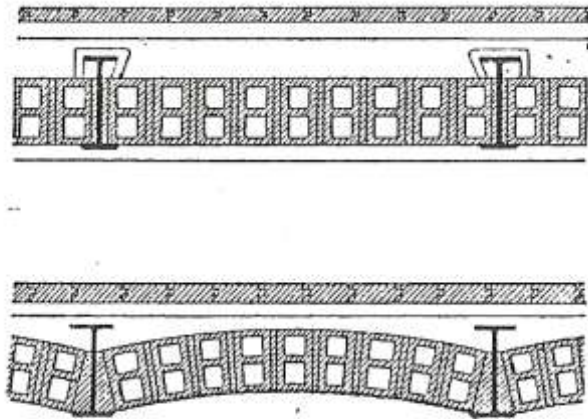
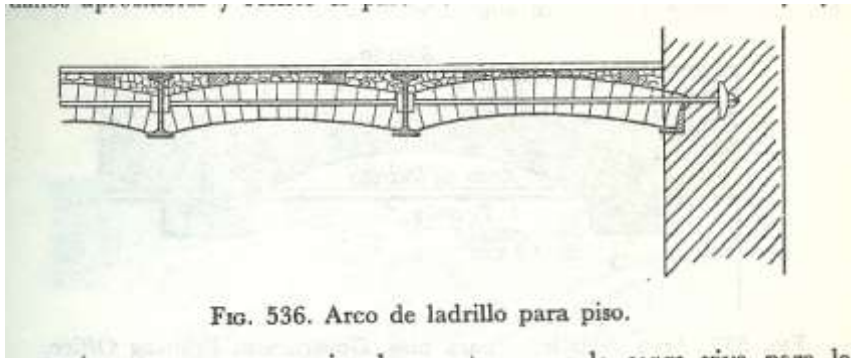


Fig. 52.

Ilustración 06. Forjado de bovedillas. Fuente: La Brique et la Terre Cuite.



93

Ilustración 07. Forjado de bovedillas. Fuente: Manual del Arquitecto y del Constructor.

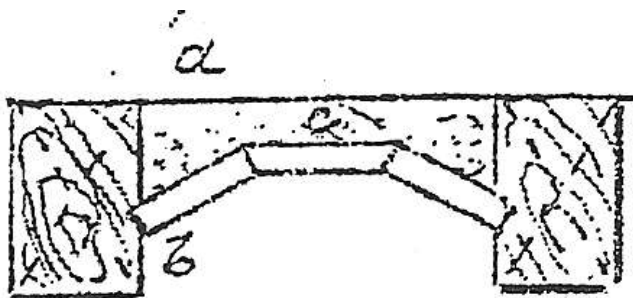


Fig. 397

Ilustración 08. Forjado de bovedillas. Fuente: Apuntes de Construcción de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, curso académico 1908/1909.



Ilustración 09. Estado actual (2008) del forjado de la Fábrica de San Isidro. Fuente: Elaboración propia.

El forjado de bovedillas de ladrillo trabajando a compresión se popularizó enormemente tanto en edificios públicos como en viviendas a finales del XIX. En la ilustración 6 podemos ver un ejemplo de un manual técnico francés de 1881, con un parecido asombroso a la técnica empleada en la construcción de la fábrica de San Isidro a finales del XIX (ilustración 9), así como en otros manuales técnicos europeos del XX, como “The New Carpenter and Joiner” (1946).

La técnica se recoge también en las enseñanzas de las escuelas universitarias españolas, como puede verse en la ilustración 8, extraída de los apuntes de Construcción del curso académico 1908/1909 de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, y que incluye incluso dimensiones recomendadas para el ladrillo, la distancia entre vigas de apoyo del forjado, y otras consideraciones de tipo geométrico dadas por la experiencia en esta técnica.

Por último, podemos ver en la ilustración 7 cómo en los manuales americanos de los años 50 que recogen la experiencia en aquel continente ya aparecen tirantes de refuerzo para este tipo de forjado, así como documentación sobre el uso del hormigón como capa superior de compresión.

## 5.- Resumen del proceso industrial del azúcar

### 5.1. La llegada de los procesos industriales al azúcar de caña. La industria azucarera de la costa de Granada

La llegada del insigne Ramón de la Sagra, botánico nacido en La Habana, a la península trajo no sólo grandes conocimientos sobre la producción del afamado azúcar cubano, sino la concreción de diversas iniciativas industriales en la península en torno al azúcar, que cristalizaron en la fundación de la Sociedad Azucarera Peninsular. Esta sociedad fundó en 1845 en Almuñécar el primer ingenio mecanizado, con evaporadores de la marca Derosne-Coil, y que posteriormente incorporaron centrifugadoras. En 1866 los beneficios permitieron a la sociedad la apertura de una nueva fábrica en Salobreña.

La gran revolución llegó a la industria con la aparición de la máquina de vapor, que era utilizado para un doble propósito: la limpieza y concentración de la caña para la extracción de los jugos, y la obtención de fuerza motriz, en una suerte de sistema cogenerador. La máquina de vapor comenzaba a sustituir de manera fulminante a la llamada “tracción de sangre”, usualmente llevada a cabo por bestias de carga o por la fuerza muscular de los propios trabajadores.

En cuanto a la procedencia de la maquinaria para la fabricación, fue en origen fundamentalmente británica y francesa, siendo las empresas francesas Fives-Lille, Cail y Savalle, o la británica Mirless Watson las suministradoras del equipamiento. Posteriormente, y en el caso del azúcar de remolacha, la alemana Braunschweigische Maschinenbau-Anstalt también participó en los diseños de la maquinaria de los recintos fabriles de San Isidro, como hemos visto anteriormente, y, parcialmente, en la de San Torcuato, en Guadix.

### 5.1. Proceso industrial de fabricación del azúcar

Describiremos las operaciones necesarias para el proceso industrial de fabricación del azúcar de caña, que recibió numerosas innovaciones de la investigación de la extracción del azúcar de remolacha por la similitud de los procesos, y cuyas diferencias irán siendo indicadas en la enumeración. De esta forma, tendremos una visión histórica global de ambos procesos, desde una perspectiva conjunta.

#### a) Extracción del jugo de la caña o remolacha

Anteriormente ejecutada con los tradicionales molinos de piedra para el caso de la caña, y posteriormente con un molino de rodillos horizontales, pasó a realizarse mediante un tren de molinos en la era del vapor. Éste era el nombre que recibía una sucesión de molinos en disposición continua, usualmente precedido de un proceso de “ruptura” por medio de las llamadas desfibradoras. Esta tecnología no se generalizó hasta comienzos del siglo XX, instalándose hasta entonces molinos independientes accionados por máquinas de vapor independientes.

Como se comentó anteriormente, un complemento de esta técnica fue implantado por el Marqués de Larios en 1870 en sus fábricas de azúcar, mediante procesos de ósmosis que aumentaban la eficacia del proceso, y que, en general, reciben el nombre de “difusión”.

Esta técnica era utilizada en el proceso industrial hermano de la extracción del jugo de sacarosa de remolacha, y fue añadida a la molturación para acabar de agotar la extracción de la sacarosa de la caña, y así aumentar el rendimiento del proceso.

#### b) Purificación de los jugos

El proceso tenía como objetivo la retirada de la materia sólida, los colorantes y otros componentes que pudieran obstaculizar la cristalización del azúcar. Podía realizarse por medios mecánicos, físicos o químicos. La vía química se ejecutaba por tratamiento con cal y posterior filtrado mediante el llamado “carbón de huesos” o “negro animal”.

Otros procesos llegaron a la industria de la caña de azúcar procedentes de la fabricación de azúcar de remolacha. Especialmente reseñable fue el de la carbonatación, consistente en introducir en el jugo una lechada de cal en exceso, haciéndola precipitar mediante inyección de anhídrido carbónico, y retirando así los ácidos y otras materias en suspensión.

La sulfitación era utilizada para retirar colorantes, y consistía en la inyección de anhídrido sulfuroso, que provocaba la precipitación del colorante. Los componentes industriales encargados de realizar estos procesos eran llamados calderas de carbonatación y filtros-prensa.

#### c) Concentración del jugo

Esta operación se realizaba en los llamados evaporadores, que hacían perder al jugo parte del agua que contenía para aumentar así su concentración. El gran adelanto de la revolución industrial en este apartado fue el evaporador al vacío, inventado por Howard en 1812. Consistía en una bomba de vacío accionada por la máquina de vapor, que permitía realizar la evaporación por debajo de los 100 °C, impidiendo que la masa se quemara. La evaporación tenía lugar en una caldera cerrada con serpentín, por el que circulaba el vapor.

Rillieux perfeccionó este sistema, de modo que el vapor desprendido de los jugos en ebullición fueran usados para la evaporación de otros menos concentrados, dando lugar así a las baterías de efectos dobles, triples, etc. Un evaporador de efecto triple, diseñado por Derosne para la firma Cail en torno a 1830, fue el primero en ser instalado en España en 1845, en la fábrica de Almuñécar de la Compañía Azucarera Peninsular. Ulteriores mejoras de este sistema permitieron la construcción de evaporadores múltiples de cuádruple y quíntuple efecto, que fueron instalados ampliamente en el primer tercio del siglo XX.

Posteriormente, y para acabar la concentración por ebullición, se procedía a la cocción, para la que se empleaban las llamadas tachas, calderas de cobre de forma cilíndrica con serpentines en su interior, a través de los cuáles circulaba el vapor; en este caso, no se reutilizaba, debiendo eliminarse por medio de una columna de condensación.

#### d) Cristalización.



Con el comienzo de la formación de cristales, al no contener el jugo agua suficiente para mantener el azúcar disuelto, y producirse una precipitación parcial, se daba por terminada la cocción. Se extraía entonces la masa del interior de la tacha y se dejaba reposar en un depósito durante medio día, realizándose la cristalización.

En sistemas más avanzados, la masa pasaba directamente de las tachas a los malaxadores, recipientes con la función de realizar una agitación automática.

#### e) Separación del azúcar cristalizado y la melaza

Se empleaban tres aparatos de forma sucesiva, que sustituyeron a la purga manual tradicional: moldes, cajas y turbinas. En los dos primeros, se realizaba la separación por una muy lenta decantación. En el tercero, las turbinas o centrífugas, separaban precisamente por medio de la fuerza del giro circular ambos materiales de forma más rápida y eficiente, expulsando al exterior la melaza (fase líquida) y conservando el azúcar cristalizado (fase sólida) en el interior del tambor circular. Las primeras turbinas fueron las introducidas por Cail en 1849.

Para rematar el proceso, podía procederse a tratar el azúcar cristalizado con chorros de vapor, para conseguir una mayor decoloración y facilitar su secado. Las melazas a veces eran recicladas en segundos o incluso terceros procesos de turbinado. El proceso de carga y descarga manual de las turbinas fue sustituido por uno automatizado a mediados del siglo XX.

Las láminas de azúcar cristalizado, llamadas comúnmente “tejas”, eran a veces tratadas en las mismas fábricas para su ruptura en terrones de menor tamaño.

97

## 6.- Estudio de caracterización de materiales

El conocimiento y caracterización de los materiales empleados en la construcción de las instalaciones industriales puede servir al estudio del patrimonio desde una doble vertiente. Por un lado, nos ayuda a conocer la forma en que los distintos materiales de construcción han evolucionado con el paso del tiempo, ya que los controles de calidad y el conocimiento científico de principios del siglo XX no estaba a la altura de los estándares actuales.

Por otro lado, y de cara a la redacción de los proyectos de restauración de entornos industriales, puede proporcionarnos valiosa información sobre qué tipologías estructurales y sistemas constructivos se adecuan más certeramente a los proyectos de restauración, muchos de los cuales se ven sometidos a la estricta y exigente normativa sobre espacios públicos, como los recogidos en el Código Técnico de la Edificación en vigor.

Así, y sin pretensión de ser exhaustivos, hemos realizado diversos ensayos de caracterización de las propiedades de los materiales utilizados en la construcción de la fábrica de San Isidro, concretamente, en los materiales cerámicos (ladrillos, empleados sobre todo en los muros de carga) y en los aceros presentes en la reforma estructural expansiva llevada a cabo en el recinto fabril en la década de los 20.

## 6.1. Ensayos de compresión simple sobre los materiales cerámicos

Los ensayos de materiales se dividen en mecánicos y químicos según la naturaleza del proceso empleado. Dentro de los ensayos de tipo mecánico, el más frecuente para materiales cerámicos es el de compresión simple, ya que nos da un valor de resistencia constructiva de gran utilidad. El objeto del mismo es la obtención del esfuerzo de compresión que provoca la rotura de la probeta.

Para la ejecución de los ensayos de rotura húmeda a compresión se han seguido las instrucciones de las normas tecnológicas UNE 67019 EX, “ladrillos cerámicos de arcilla cocida” y UNE-EN 772-1, “métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, parte 1: determinación de la resistencia a compresión”. Fueron llevados a cabo el 14 de diciembre de 2009 en el laboratorio de materiales de la Escuela Técnica de Arquitectura Técnica de la Universidad de Granada.

Se obtuvieron 18 muestras de siete tamaños diferentes, denominándolas con una letra de la A a la G según clasificación de tamaños. El método normalizado europeo de preparación de probetas contenido en la descripción del capítulo 7 de la norma UNE-EN 772-1 es muy estricto sobre el paralelismo de las caras de las muestras, de forma que usualmente recomienda la preparación de las mismas mediante dos medios ladrillos refrentados mediante mortero de arena y agua.

Para respetar escrupulosamente los criterios de preparación de las probetas, y dadas las malas condiciones geométricas de algunas de las muestras, solamente se consideraron aptas para ensayo tres de las mismas, muy bien conservadas: una del tamaño D (24,5 cm de largo, 13 de ancho y 4,5 de espesor) y dos del tamaño G (22 cm de largo, 10 de ancho y 3,5 de espesor).

La probeta D presentaba una superficie de rotura de 12,45 cm de largo por 13 de ancho, es decir, de 161,85 cm<sup>2</sup>. Rompió con un esfuerzo de compresión de 14,8 t, es decir, 91,3 kp/cm<sup>2</sup>.

La probeta G1 presentaba una superficie de 11,25 cm de largo por 10 de ancho, es decir, de 112,5 cm<sup>2</sup>. El ensayo concluyó con un esfuerzo de compresión de 14,29 t, es decir, 127,6 kp/cm<sup>2</sup>.

La probeta G3 presentaba una superficie de rotura de 10 cm de largo por 10 de ancho, es decir, de 100 cm<sup>2</sup>. Presentó rotura según la normativa con una fuerza de compresión de 12,03 t, es decir, un esfuerzo de 120,3 kp/cm<sup>2</sup>.

## 6.2. Ensayos de tracción sobre los aceros

Este ensayo mecánico, de muy común aplicación en ciencia de materiales, sirve para determinar las características mecánicas de una barra o perfil laminado de acero. Se rige por la norma UNE-EN ISO 6892-1, y consiste fundamentalmente en ejecutar un esfuerzo de tracción a lo largo de la mayor dimensión de la pieza de acero hasta que se produce el agotamiento de la superficie y consecuente rotura de la pieza. Se pueden

obtener multitud de coeficientes de caracterización, siendo los más comunes el módulo elástico de deformación longitudinal, el límite elástico y la tensión de rotura.

Las muestras 1 y 2 presentaban forma cilíndrica, procedentes de una baranda de acero instalada en la ampliación de los años 20 en el recinto fabril de San Isidro. La muestra 3 presenta forma plana y procede del acero estructural empleado en la ampliación. Los ensayos fueron realizados el 28 de enero de 2010 en el laboratorio de materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada.

La muestra número 1, de longitud inicial 46,1 cm, presentó una longitud tras el ensayo de 49,1 cm. Se obtuvo un módulo de elasticidad longitudinal para la muestra de 218,6 GPa y un límite elástico de 311,8 MPa, con una tensión de rotura de 382,8 MPa.

La muestra número 2, de longitud 46,6 cm, midió 53,8 cm tras ser sometida a ensayo, obteniéndose para ella un módulo de elasticidad longitudinal de 196,9 GPa y un límite elástico de 230,6 MPa. La tensión de rotura alcanzó los 367,8 MPa.

Finalmente, la muestra número 3, de longitud inicial 43,5 cm, presentó una longitud final de 48,1 cm, un módulo de elasticidad longitudinal de 154,2 GPa y un límite elástico de 283 MPa, alcanzándose la rotura con una tensión de 396,3 MPa.

### **6.3. Análisis mediante microscopio metalográfico de reflexión sobre los aceros**

La determinación metalográfica de microestructuras de los materiales es un proceso necesario para determinar y predecir las propiedades mecánicas que tendrá un material para su aplicación industrial en el futuro, o como es en nuestro caso, la que tuvo en el pasado.

El procedimiento consiste en preparar las probetas de los materiales, en este caso aceros, cuyas características microscópicas se deseen determinar. Las probetas metalográficas se llevan a cabo mediante el montaje en frío con resina formada in situ en un molde mediante una reacción de polimerización. La reacción citada consiste en mezclar una parte de peso de líquido por dos partes de peso de sólido en polvo de un polímero de metacrilato endurecido, que al solidificar se hace transparente.

Posteriormente, la probeta se somete a procesos de desbaste de las rugosidades elevadas en la superficie mediante el uso de lijas de tamaño de grano elevado, y conforme el desbaste sea más fino el tamaño de grano de la lija usada debe ser menor. A continuación se somete a un proceso de pulido para conseguir que las rayas en la superficie del material montado sobre la probeta sean cada vez más finas. El pulido se ejecuta mediante discos de lana y terciopelo con líquido con partículas de diamante de tamaño entre 1 y 9 micrómetros. Con este proceso, se obtiene una superficie especular del material que hará posible la observación al microscopio de los microconstituyentes del acero.

Por último, el material se trata con reactivos que harán posible observar los microconstituyentes citados, que por diferencia de contraste en el microscopio se identificarán como granos austeníticos. Una vez analizado el tamaño y tipo de grano austenítico formado podemos analizar algunas propiedades mecánicas del material

conformado con estas características microestructurales. Los tamaños de granos grandes y abiertos dan lugar a materiales que rompen antes y poseen poca zona plástica. Los tamaños de granos pequeños y cerrados dan lugar a materiales que rompen más tarde, poseen alta ductilidad.

Aunque se utilizaron varias muestras, tomaremos como más representativo el análisis de la muestra 1 citada en el apartado anterior, y que mostramos a continuación en la ilustración 10.

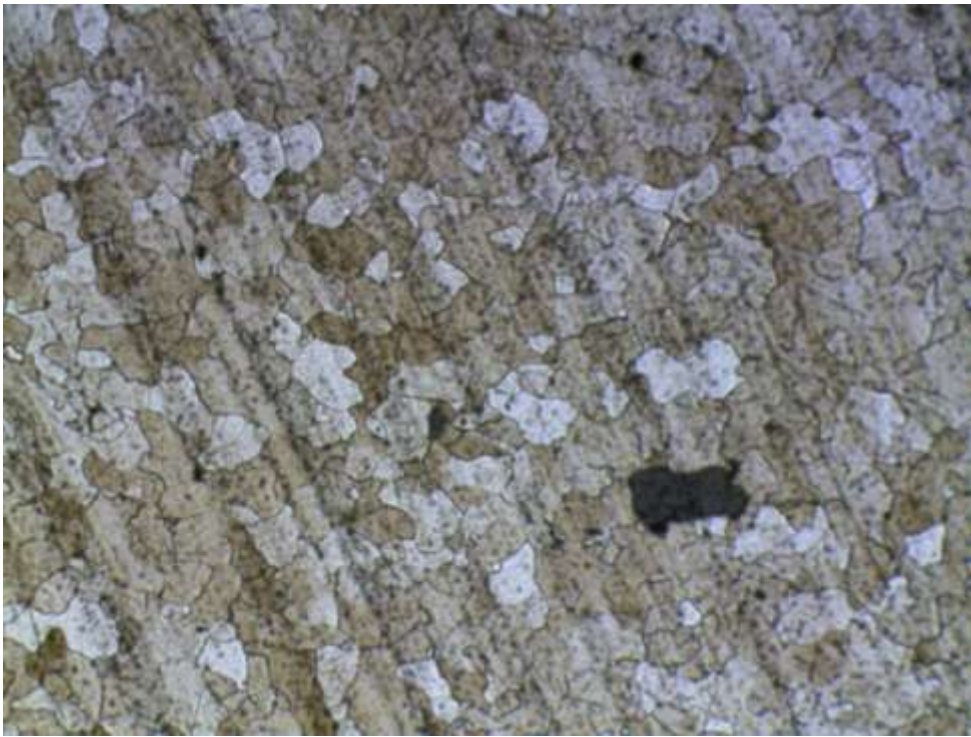


Ilustración 10. Vista microscópica de la probeta para análisis metalográfico (x20).

En la imagen podemos observar, entre varios restos de escorias, una microestructura hipoeutectoide típica de ferrita mezclada con perlita, con un tamaño 7 de grano y un contenido de carbono aproximado del 0,25%.

## **7.- Conclusiones y recomendaciones de cara a la rehabilitación de entornos industriales similares**

La digitalización de documentación técnica del siglo XIX y principios del XX nos ayuda a identificar y comprender los tipos estructurales utilizados en las construcciones de tipo industrial que forman parte del patrimonio histórico y cultural. En ellas se pueden percibir las grandes influencias de los técnicos centroeuropeos de finales del XIX; al adquirir frecuentemente en España la maquinaria industrial a través de catálogos franceses o alemanes, su instalación incluía necesidades y limitaciones que debían ser resueltos por los ingenieros y arquitectos de la época mediante soluciones que venían determinadas por las propias medidas geométricas y el funcionamiento de la citada maquinaria.

Éstas venían propuestas, en su mayoría, por los propios técnicos industriales, y afectaron particularmente a las distribuciones en altura y a los forjados. Es sabido que

muchos de estos técnicos centroeuropeos se afincaron, incluso definitivamente, en el sur de España tras la instalación y puesta en marcha de las soluciones industriales.

La fábrica de San Isidro tuvo sucesivas ampliaciones a lo largo del tiempo, así como accesibilidad ferroviaria posterior a través del sistema tranviario metropolitano. Varias de estas sucesivas modificaciones fueron consecuencia de fallos estructurales parciales debidos a la grave afección sísmica a las edificaciones.

La construcción de chimeneas y otras torres relacionadas con el proceso de fabricación se convirtió en un auténtico hito paisajístico del patrimonio industrial en toda Europa. Se ejecutaron inicialmente en ladrillo, aunque con posterioridad aparecieron chimeneas de hormigón en la provincia de Granada. Los forjados de bovedillas, conocidos localmente en ocasiones como “de revoltón”, fueron muy populares en Centroeuropa y en España, estando la tipología muy extendida.

En cuanto a la caracterización de los materiales empleados, los valores recomendados por la norma española RL-88 para la recepción de ladrillos especificaban una resistencia a compresión mínima de 100 kp/cm<sup>2</sup> para que resultaran aceptables. Por tanto, tan sólo una de las tres muestras válidas analizadas se encontraría en la actualidad ligeramente por debajo de los estándares de calidad de finales del siglo XX. Es de destacar la enorme dispersión estadística en cuanto a la resistencia obtenida según las distintas tipologías de ladrillos.

Los valores recomendados por la norma española UNE 36-080-85 sobre calidad en los aceros laminados especificaban un límite elástico mínimo de 235 MPa para la clasificación AE 235-B. Por tanto, tan sólo una de las tres muestras analizadas queda ligeramente por debajo de estos estándares, alcanzando incluso las otras muestras resistencias propias de la clasificación AE 275-B.

En cuanto al módulo de elasticidad longitudinal, tan sólo una de las tres muestras alcanza la especificación estándar actual de 210 GPa, mostrando gran dispersión los aceros analizados en este apartado.

Las recomendaciones, por lo tanto, que podemos obtener para los redactores de proyectos técnicos de restauración son muy diversas. Por un lado, y desde el punto de vista de la tipología estructural, se debe tener en cuenta que en el pasado las sollicitaciones de tipo sísmico, usualmente generadoras de fuerzas de tipo horizontal, causaron fallos en la fábrica de San Isidro y otras muchas edificaciones de la Vega. En la restauración de finales de los 50, éstas fueron resueltas mediante refuerzos de acero aún visibles en la fachada de la fábrica y de la alcoholera.



Hay que tener en cuenta que la tipología estructural en muros de carga presenta elevados momentos flectores ante las sollicitaciones horizontales, que se agravan de forma exponencial con la altura de la edificación. Puntos especialmente delicados ante este tipo de sollicitaciones son los encuentros entre el forjado de bovedillas y el muro de carga, que deben ser inspeccionados, evaluados y recalculados en la estructura rehabilitada si fuera necesario. Se recomienda en estos casos una rehabilitación o mejora de las capas de compresión de estos forjados, así como la adición de refuerzos transversales de acero o incluso de tirantes transversales en tensión si fuera necesario, de modo que no se produzca la apertura de los muros ante los esfuerzos de tipo sísmico o similares.

Desde el punto de vista de la ciencia de materiales, sabemos que muchas de las piezas de acero de la época presentaban un exceso de carbono, haciendo aconsejable el uso del atornillado o roblonado en caso de ser necesaria una modificación en estructuras de tipo metálico, y evitando soldaduras, ya que estos aceros solían ser muy resistentes pero quebradizos a la vez. Como hemos podido ver en los resultados de los ensayos de tracción, las piezas de acero han conservado con el paso del tiempo valores bastante elevados de resistencia, muy propios de esta tipología; sin embargo, su composición química nos los presenta como dúctiles, por lo que se podría usar en este caso la soldadura si fuera necesario. En caso de ser imposible acudir a estas recomendaciones de tipología estructural, o de encontrar patologías más graves, siempre queda el recurso a las estructuras autoportantes, que pueden integrarse con bastante acierto en la mayor parte de los entornos diáfanos industriales.

En general, y tanto para el cálculo de estructuras rehabilitadas como para su consideración de cara a modificaciones, se recomienda utilizar los valores mínimos hallados en los ensayos dada la gran dispersión de los resultados, aplicándoles los coeficientes de minoración normativos en el cálculo estructural al uso. Si bien un mayor número de resultados hubiera sido más determinante para un estudio estadístico de los mismos, hay que tener en cuenta que se ha dispuesto de probetas muy limitadas en número para la realización del estudio, y que por lo tanto los valores proporcionados deben ser utilizados con precaución y aplicando todas las reservas, debiendo realizarse nuevos ensayos en cada caso de rehabilitación en la medida de lo posible, que sean de aplicación para cada edificación.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ ARECES, M. A. (2007). *Arqueología industrial. El pasado por venir*. Gijón: CICEES.

ANÓNIMO (1909). *Apuntes de Construcción de la Escuela Especial de Arquitectura de Madrid, curso académico 1908/1909*.

BOUGHTON, R. V.; RYDER, H. (1952). *The new carpenter and joiner*. Londres: The Caxton Publishing Company Ltd.

CASTILLA RODRÍGUEZ, B. (2013). *Francisco Giménez Arévalo. La introducción en Granada de nuevas tecnologías y su aplicación a procesos constructivos a finales del siglo XIX y principios del XX*. Granada: Universidad de Granada.

DEL RINCÓN, D., ARNAL, J.; LATORRE, A.; SANS, A. (1995). *Técnicas de investigación en ciencias sociales*. Madrid: Dykinson.

ÉMY, A. R. (1841-1842). *Traité del l'art de la charpenterie*. Bruselas: Meline, Caus et Compagnie.

GARCÍA RUIZ, A. L. (1982). *La Industria en la Provincia de Granada*. Granada: Universidad de Granada y Excma. Diputación Provincial de Granada.

GIMÉNEZ YANGUAS, M.; PIÑAR SAMOS, J. (2013). *Motril y el azúcar. Paisaje, historia, patrimonio*. Motril: Fundación Pública Andaluza "El Legado Andalusi".

GÓMEZ, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Barcelona: Ed. Brujas.

GONZÁLEZ RUIZ, L.; NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.; PIÑAR SAMOS, J. (2007). *La empresa de nuestros abuelos. Territorio e iniciativa económica en la Granada del primer tercio del siglo XX*. Granada: Fundación Caja Rural de Granada.

GUERRERO QUINTERO, C. (2006). *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*. Sevilla: Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

HEMPEL, C. G. (1966). *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

KIDDER, F. E.; PARKER, H. (1957). *Manual del arquitecto y del constructor*. México, D.F.: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana.

LATORRE, A.; DEL RINCÓN, D.; ARNAL, J. (2003). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Experiencia.

MARTÍN RODRÍGUEZ, M.; MALPICA, A. (1992). *El azúcar en el encuentro entre dos mundos*. Madrid: Asociación General de Fabricantes de Azúcar de España.

MARTÍN RODRÍGUEZ, M.; GIMÉNEZ YANGUAS, M.; PIÑAR SAMOS, J. (1998). «El azúcar de remolacha: la industria que transformó la Vega de Granada». En: M. Titos Martínez, *Historia Económica de Granada*. Granada: Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Granada, pp. 214-235.

MARVÁ MAYER, J. (1916). *Mecánica aplicada a las construcciones*. Madrid: J. Palacios, ed.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. (1997). *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford: Oxford University Press.

PIÑAR SAMOS, J. (1989). «Tradición y modernidad agraria en la costa granadina durante el siglo XIX». En: J. González Ruiz, *Motril y el azúcar: tradición y modernidad*. Motril: Ayuntamiento de Motril y Diputación Provincial de Granada, pp. 17-42.

PIÑAR SAMOS, J.; GIMÉNEZ YANGUAS, M. (1996). *Motril y el azúcar: del paisaje industrial al patrimonio tecnológico, 1845-1995*. Motril: Asukaria Mediterránea.

PIÑAR SAMOS, J.; MARTÍN RODRÍGUEZ, M.; GIMÉNEZ YANGUAS, M. (1998). «El Azúcar de la Costa». En: M. Titos Martínez, *Historia Económica de Granada*. Granada: Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Granada, pp. 190-213.

REYES MESA, J. M.; GIMÉNEZ YANGUAS, M. (2014). *Miradas desde el Ferrocarril del Azúcar. Paisaje y patrimonio industrial en la Vega de Granada*. Granada: Axares.

RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J. (2011). «Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales de uso industrial», *Innovación y experiencias educativas*, n. 41. Granada: CSI-F.

RUBIO GANDÍA, M. Á.; GIMÉNEZ YANGUAS, M.; REYES MESA, J. M. (2001). *El pasado del futuro: vestigios de la industrialización en la provincia de Granada*. Granada: Diputación Provincial de Granada.

RUBIO GANDÍA, M. Á.; REYES MESA, J. M.; GIMÉNEZ YANGUAS, M. (2003). *Patrimonio industrial en Granada*. Granada: Universidad de Granada.

SAAVEDRA, M. S. (1998). «Formación de docentes reflexivo-transformativos», *Revista de Tecnología Educativa*, n. 13, pp. 191-211.

SALMON, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

SEBASTIÀ TALAVERA, J. (2007). *La belleza industrial. Historia de la fábrica y su estética*. Valencia: Fundación Bancaja.

SEIGNOBOS, C.; LANGLOIS, C. V. (2003). *Introducción a los estudios históricos*. Salamanca: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

SOBRINO, J. (1996). *Arquitectura Industrial en España, 1830-1990*. Madrid: Cátedra.

STAKE, R. (1981). «Case study methodology: an epistemological advocacy». En: W. W. Welsh (Ed.), *Case study methodology in educational evaluation. Proceedings of the 1981 Minnesota Evaluation Conference*. Minneapolis: Minnesota Research and Evaluation Center.

TOGNARINI, I.; NESTI, A. (2003). *Archeologia Industriale: L'oggetto, i metodi, le figure professionali*. Roma: Carocci Editore.

VIERENDEEL, J. A. (1902). *La construction architecturale en fonte, fer et acier*. Lovaina: A. Uystpruyst y Dunod.