

FERRERIAS, METALURGIA E INGENIERIA EN COLOMBIA

GABRIEL POVEDA RAMOS

El autor, remontándose a la época colonial, conduce al lector, a conocer, en forma amplia y detallada, el desarrollo que ha tenido en nuestro país la producción metalúrgica y sus múltiples aplicaciones industriales.

Para mayor ilustración inicia el recuento histórico hablando sobre la producción que, a mediados del siglo XIX, tuvo el hierro en Inglaterra, otros países europeos y los Estados Unidos precisando cómo con la llegada de químicos e ingenieros europeos a la Nueva Granada, con posterioridad a las guerras de independencia, se dan los pasos iniciales para la creación, intensificación y tecnificación de la industria de la metalurgia y de las cuatro ferrerías fundadas en el país —Pacho, Samacá, La Pradera y Amagá—. Con la primera de éstas creada por iniciativa del ingeniero Jacobo Wiesner se inicia, en 1824, el desarrollo de la siderurgia en Colombia.

En el escrito se observa la gran importancia que tuvieron las ferrerías para la economía del país y sobre la utilización, por parte de ellas, de una tecnología compleja, muy actualizada en su época, ya que incluía los más recientes adelantos técnicos y científicos.

Se anota en él que aunque las ferrerías eran dirigidas por técnicos extranjeros calificados, ingenieros de escuela o prácticos empíricos, de ellos aprendieron nuestros ingenieros civiles y de minas, especialmente los antioqueños, varios saberes y actividades técnicas relacionadas con la explotación de minas de veta de metales preciosos.

También se indican las diferentes escuelas que se crearon para difundir las técnicas mecánicas y metalúrgicas y de las cuales sus egresados influyeron para la formación y mejoramiento de los talleres que se fundaron, realizaciones que demuestran el interés tanto metalmeccánico como metalúrgico que se tenía en el siglo XIX. A su vez se señala cómo a partir de la

década del treinta, con la creación de siderúrgicas, el país entraba a una nueva forma de industrialización y desarrollo en los campos siderúrgico y metalmeccánico, produciendo avances de mayor significación que las realizadas por las ferrerías en el siglo pasado.

Paralelamente a esta expansión y con la creación de Paz del Río, obra que presenta la mayor esperanza y esfuerzo realizado en Colombia, se inauguran procesos técnicos, aparición de equipos desconocidos, se abre el camino para el ejercicio profesional de gran número de ingenieros, en las diferentes ramas y el establecimiento de programas universitarios para la formación de ingenieros metalúrgicos que, en la actualidad, graduados como tales, han contribuido decididamente al desarrollo técnico de este importante sector industrial.

Introducción

Cuando los españoles conquistaron y colonizaron sus territorios en América trajeron consigo el hierro y el acero que ellos usaban para sus armaduras, sus armas, sus herramientas y sus implementos mecánicos. Todos estos objetos venían fabricados del metal que producían los hornos de Cataluña, Vizcaya y Toledo. En la Hispanoamérica colonial nunca se produjo hierro ni acero. El trabajo de estos metales se limitaba al de unos pocos herreros en Santa Fe de Bogotá, Popayán y Cartagena, quienes forjaban a mano rejas para ventanas, pequeñas herramientas agrícolas, herraduras para bestias, faroles y objetos decorativos. Aparte de ésta, la única actividad metalúrgica que ejercieron los españoles en nuestra tierra fue la de fundir campanas de bronce para las iglesias, lo cual sólo se requería de vez en cuando en poco número. Sólo se sabe de un pasajero interés que tuvo don Pedro Fermín de Vargas porque se fabricara hierro en la Colonia.

Fueron los libros que trajeron Mutis y sus discípulos a raíz de la expedición botánica, los que probablemente introdujeron a nuestro país las primeras nociones de metalurgia. Es seguro que entre los libros de Juan José D'Elhuyar venían varios que se referían a los minerales de hierro y en cobre, y a la for-

ma de procesarlos para obtener estos metales. Un buen indicio de que el movimiento de la expedición botánica debió alimentar el interés por el estudio de los metales, es que Francisco José de Caldas, en 1814, al llegar a Rionegro (Antioquia) a fundar la Escuela Militar que esa provincia le encargó, se empeñó con éxito en fundir bronce para hacer los primeros cañones hechos en nuestra patria, para los incipientes ejércitos libertadores.

La primera parte del siglo XIX fue de una extraordinaria expansión en la producción y uso del hierro en Europa y Estados Unidos. Por ejemplo, en Inglaterra, se produjeron 170.000 tons. de hierro en 1802, y la expansión de esta industria la llevó a un millón de tons. en 1835 y a 3.8 millones de tons. en 1860, como se muestra a continuación:

Producción de hierro crudo en Inglaterra 1802-1860

1802	170.000 tons.
1806	250.000 tons.
1820	400.000 tons.
1825	581.000 tons.
1830	653.000 tons.
1835	1.000.000 tons.
1840	1.396.000 tons.
1847	2.000.000 tons.
1852	2.701.000 tons.
1855	3.218.000 tons.
1858	3.456.000 tons.
1860	3.826.000 tons.

Fuente: Percy, *Traité Complét de Metallurgie*.

En cuanto a Francia, que en 1819 produjo tan sólo 74.000 tons. de hierro crudo, elevó su producción en 1850 hasta 246.000 tons; y en 1860, hasta 559.000 tons. En aquella época, la producción de acero era insignificante, por el alto costo que entonces tenía el proceso de cementación con que se le fabricaba, mezclando hierro gris y hierro forjado maleable descarburizado.

La tabla anexa muestra la producción de hierro crudo, hacia 1855, en los países de occidente:

Gran Bretaña	3'000.000 tons.
Francia	750.000 tons.
Estados Unidos	750.000 tons.
Prusia	430.000 tons.
Austria	250.000 tons.
Bélgica	200.000 tons.
Rusia	200.000 tons.
Suecia	150.000 tons.
Estados alemanes	100.000 tons.
Países diversos	300.000 tons.

Fuente: Percy, *Traité Complét de Metallurgie*.

La Primera Ferrería en Pacho

En los años que siguieron a las guerras de independencia, se intensificó notablemente la minería de oro en la Nueva Granada, y ello creó una demanda más amplia y más intensa por artículos y herramientas de hierro. Precisamente al iniciarse nuestra vida independiente y para intensificar y tecnificar la minería aurífera, vinieron a nuestro país un grupo de químicos e ingenieros de minas, europeos, muy bien preparados en la metalurgia de su tiempo, y formados en famosas escuelas del viejo mundo como Freiberg (Alemania), Upsala (Suecia) y París. Cabe recordar entre ellos especialmente a Jean Baptiste Boussingault, Mariano del Rivero,

Tyrrell Moore, Robert Walker, Peter Nisser, Karl Dagenhardt y Carlos Segismundo de Greiff. Por otra parte, el nuevo ejército demandaba implementos y armas que no podían adquirirse totalmente en el exterior.

Don Jacobo Wiesner era un ingeniero de minas que había venido en 1804 con una misión de colegas alemanes, traída por el Virrey Arzobispo Caballero y Góngora para estudiar los recursos de oro y plata en la Nueva Granada. Recién terminada la guerra de independencia, el Sr. Wiesner montó en Pacho (Cundinamarca), en 1824, un pequeño alto horno para obtener hierro, utilizando un yacimiento mineral que él mismo había descubierto en ese sitio. Puede decirse que en ese momento nació la siderurgia en Colombia, porque fue entonces la primera vez que se produjo ese metal en nuestro territorio.

Wiesner había estudiado ingeniería de minas y metalurgia en Freiberg y él mismo dirigió la construcción de sus modestas instalaciones. En ellas producía hierro primario en forma de fundición gris, de la cual vaciaba algunos pocos artículos muy poco elaborados.

En 1827 el gobierno otorgó a la "Sociedad Franco-Colombiana de Minas" un privilegio para establecer una fábrica de hierro en el país, y esta sociedad procedió a adquirir y ensanchar las instalaciones del Sr. Wiesner, en Pacho, las cuales amplió y complementó trayendo técnicos de Francia en 1830. La sociedad Franco-Colombiana era propiedad de socios españoles (Luis Egea) y franceses (Pierre Daste) y tuvo como directores a altos personajes de su época como José Manuel Restrepo y José María del Castillo y Rada. Pocos años después las instalaciones y el privilegio fueron vendidas a la "Compañía Grana-

dina". A lo largo de todo el siglo la ferrería de Pacho continuó operando con intermitencia, pasando de unos propietarios a otros y sorteando hasta el fin muchísimas dificultades.

La compañía Franco-Colombiana construyó un nuevo alto horno, de 10 mts. de altura y con una capacidad de producción de unas 4 tons. por día de hierro fundido. Esa misma empresa construyó uno o dos hornos de pudelado para descarburizar el hierro y convertirlo en maleable, así como un martillo de vapor para forjarlo y un laminador de cilindros para producir barras y planchas.

En esas condiciones la ferrería de Pacho convertía mineral de hierro con carbón vegetal y caliza en arrabio de hierro gris, del cual vaciaba piezas fundidas, y que convertía, en parte, en el hierro maleable que vendía en forma de planchas y barras. La capacidad de producción de la ferrería durante su vida ascendió desde unos 300 hasta unos 600 quintales por mes, es decir desde unas 180 hasta unas 360 tons. por año.

La tecnología que se usaba en Pacho era relativamente nueva, aún a nivel internacional. Recuérdese que, menos de 50 años atrás, en 1784, Henry Cort y Peter Onion habían inventado en Inglaterra el procedimiento del pudelado y el forjado para convertir el hierro gris crudo en hierro maleable. Poco después Cort mejoró el método tratando la fundición al fuego con coque, en un horno de reverbero, para descarburarlo y luego reemplazó los martillos para forjarlo con cilindros laminadores.

El privilegio que se concediera por 15 años en 1827, a la Compañía Franco-Colombiana, fue prorrogado al vencerse en 1842, por otros 6 años, hasta 1848.

Hacia 1835 la ferrería fue comprada por el señor Pablo Morales en asocio con Diego Davidson y Alejandro MacDowell; y poco después la compró el empresario y técnico inglés Roberto H. Bunch, quien trajo nuevos técnicos desde Inglaterra. A mediados del siglo la ferrería producía y vendía rejas para balcones y ventanas, yunques, bigornias, pisones de molino, barras para trabajar la tierra y planchas. Algunos de estos productos eran de hierro gris fundido y otros de hierro maleable, forjado o fundido. Se consideraba que la calidad del material era muy buena y se le comparaba con el mejor hierro de Vizcaya. En esa época Bunch construía un horno de reverbero para pudelar el arrabio del hierro gris; producía unos 32 quintales diarios (cerca de una y media tons.); y se decía, no sin razón, que era "la mejor ferrería que hay en la América del Sur", en el momento en que sólo Méjico y Brasil tenían dos o tres ferrerías cada uno. La época en que la dirigió el señor Bunch, en los años 1850, fue la mejor en sus resultados técnicos y económicos de la empresa. En esa época la ferrería adoptó el coque como reductor y combustible para el alto horno, lo que estaba generalizándose en las siderúrgicas de Estados Unidos.

Dice Ospina Vásquez, muy fundadamente, que esta ferrería y las otras que hubo en el siglo pasado fueron "una escuela valiosa en el arte del empresario" y que contribuyeron a atenuar el corte feudal que tendía a adquirir en América Latina el poder económico de las clases pudientes.

En años posteriores la ferrería de Pacho suspendió su trabajo en varias ocasiones; cambió de dueño varias veces; se reestructuró en otras tantas oportunidades; trajo nuevos técnicos

extranjeros, y tuvo que arrostrar muchas dificultades financieras y comerciales. En los años ochentas enfrentó complicadas dificultades legales que agravaron su situación. Finalmente en 1896, después de 72 años de vicisitudes y prosperidades alternadas, la ferrería de Pacho cerró su producción definitivamente.

La Ferrería de Samacá

La ferrería de Pacho existió sola en el país entre 1824 y 1855. En este último año los señores Martín Perry y Santiago Bruce, antiguos empleados de la Ferrería de Pacho, comenzaron a construir en Samacá (Boyacá) un establecimiento pequeño y rudimentario para beneficiar el mineral de hierro de esa localidad. En esa época la ferrería de Pacho operaba con considerable éxito y fue eso lo que sin duda movió a los señores Perry y Bruce a iniciar la ferrería de Samacá.

Pero esa empresa corrió con menos suerte. Su montaje inicial era sumamente pobre y no logró producir hierro durante muchos años. Pasó de unas manos a otras en varias ocasiones; y sólo se convirtió en empresa productora cuando la compró el Estado de Boyacá por iniciativa de su Presidente José Eusebio Otálora. El Estado hizo grandes inversiones para construir un nuevo alto horno, hornos de pudelado, hornos para fabricar ladrillos refractarios e instalaciones de agua, y para importar un completo y moderno equipo mecánico. En 1882 se hizo la primera fundición que dejó al horno completamente averiado, pero se le reparó. Entre esa fecha y 1884 la ferrería trabajó en medio de no pocas dificultades. En la última fecha mencionada, sus muchos y graves problemas obligaron a cerrarla.

En los primeros años ochentas operaban en el país las cuatro ferrerías que hubo en el siglo XIX: Pacho, Amagá, La Pradera y Samacá. En esa época, solamente Méjico y quizá el Brasil, en América Latina, tenían una actividad siderúrgica mayor que Colombia.

En 1885 el Estado de Boyacá decide prescindir de la ferrería, y adaptar sus instalaciones para convertirlas en una fábrica textil que tuvo bastante más éxito y que perduró hasta bien avanzado el siglo XX.

La Ferrería de La Pradera

En 1855 cuando Perry y Bruce iniciaban el montaje de Samacá, otros dos antiguos técnicos ingleses de la ferrería de Pacho, Jean James y Rafael Forest, asociados a Samuel Sayer, emprendieron la explotación de un yacimiento de mineral de hierro, pocos kilómetros al norte de Subachoque (Cundinamarca). Tal como las otras dos ferrerías, comenzó con un montaje muy rudimentario, que incluía un alto horno pequeño, y un cubilote para refundir el hierro. Esta empresa fue la ferrería de La Pradera. Durante muchos años trabajó intermitentemente en pequeña escala y cambió de dueños en varias ocasiones. En 1877 fue comprada y reiniciada por Carlos Manrique, Tomás Agnew y Lorenzo Codazzi (uno de los dos hijos ingenieros de Agustín Codazzi).

En 1881 un grupo de nuevos dueños montó un alto horno mayor, que podía producir 3 tons. diarias de arrabio. Se instaló también un nuevo cubilote, hornos para hacer coque, hornos para hacer refractarios, hornos de pudelado, un martillo de vapor para maneabilizar el hierro pudelado y cilindros de laminación. Con estos equipos modernos y

de buen nivel técnico, La Pradera aumentó y diversificó su producción en forma notable. Fabricaba masas molidoras y fondos para trapiches, herramientas agrícolas, barras de hierro forjado y planchas en hierro maleable. Su buen desarrollo técnico le permitió producir también, en 1881, rieles que fueron encargados por el gobierno nacional para construir el ferrocarril de La Sabana. En 1882 la producción diaria llegó hasta un nivel máximo de 4.8 tons. por día. En estos años la empresa corrió con un buen éxito en el plano técnico y con resultados aceptables en el plano económico.

En 1980 se terminó de construir un alto horno nuevo y de mayor capacidad, adaptado para emplear coque. El uso del coque como combustible y reductor en altos hornos era entonces una innovación relativamente reciente, que en los Estados Unidos sólo se había generalizado entre 1850 y 1860.

Hay varios indicios que sugieren que esta ferrería fue la más grande y más desarrollada en el país en los años finales del siglo XIX. En 1886 empleaba 76 obreros y producía unas 4 tons. por día de arrabio fundido. El gobierno había ordenado a su favor varios estímulos como subsidios, préstamos a bajo interés y pedidos por 3.000 tons. de rieles de hierro para ferrocarril. Vicente Restrepo y Liborio Zerda, que en ese tiempo disfrutaban de prestigio como químicos e ingenieros de minas, hicieron algunos estudios sobre la ferrería de La Pradera, como los habían hecho también para la de Samacá. Estos estudios habían sido realizados para decidir ensanches o construcciones de sus instalaciones o para tomar en el gobierno la determinación de conceder auxilios que le ayudaron a la empresa a sobrevivir por varios años, hasta después de concluir el siglo XIX.

En 1905 el empresario y gerente de la empresa, General Julio Barriga tenía decidido traer de Europa un equipo mejor para la ferrería. Pero la crisis monetaria de ese año y las exigencias del gobierno para pagar anteriores créditos impidieron realizar ese propósito. En el mismo año el General Barriga murió y la ferrería cerró su producción definitivamente.

La Ferrería de Amagá

En Antioquia se despertó el interés por producir hierro desde los primeros años de vida republicana de la Nueva Granada. En 1833 un médico francés produjo el primer lingote de hierro en Medellín a partir del mineral local, producido probablemente con carbón vegetal y caliza en un horno de fabricación casera. Dos años después el gobierno nacional otorgó concesión a Carlos Rodríguez para montar una ferrería en Antioquia, pero esta concesión no se utilizó. En 1857 el gobierno dio otro privilegio con el mismo fin, pero tampoco esta vez tuvo resultados prácticos.

En 1864 el Estado soberano de Antioquia dio un privilegio a Francisco Antonio Alvarez, Pascasio Uribe y Eugenio Martín Uribe para montar una ferrería en Amagá. Estos tres vigorosos empresarios antioqueños lo hicieron así y al año siguiente construyeron sus instalaciones en el paraje de La Clara, cerca a la población de Amagá, en el Estado de Antioquia. El compromiso de los empresarios era llegar a producir 1.200 tons. por año de hierro colado, forjado y maleable. La ferrería de Amagá era al parecer un poco más pequeña que las de Pacho y La Pradera que funcionaban también en aquellos años. Nunca recibió subsidio ni apoyo oficial pero el acierto comercial en la índole de sus productos le permitió durar hasta bien entrado el siglo XX.

Los fundadores compraron tierras y bosques, desarrollaron minas de mineral de hierro y de carbón, construyeron edificios y hornos, abrieron caminos e instalaron equipos (algunos de ellos algo anticuados). El primer alto horno era un antiguo modelo inglés muy pequeño y entró en producción en 1867. Comenzó a trabajar con carbón vegetal pero algunos años después fue convertido para trabajar con coque obtenido de hullas de Titiribí, porque las de Amagá no coquizaban bien. En los primeros años la dirección técnica la hizo el ingeniero de minas francés Eugéne Bonnet. Un tiempo después le sucedió otro ingeniero francés, Eugéne Lutz.

A pesar de sus deficiencias técnicas, hacia 1870 era la empresa industrial más importante del Estado de Antioquia, gracias a que desde el comienzo se orientó certeramente a producir máquinas agrícolas y mineras sencillas, como despulpadoras, ruedas Pelton, bocartes para molinos y arrastres para minas. Sus productos eran de hierro fundido, gris o blanco. Por la mala calidad del carbón y quizá por falta de equipos adecuados esta ferrería nunca pudo producir hierro maleable. Hacia 1870 su producción de hierro crudo llegaba a las 1.200 tons. anuales.

En medio de muchas dificultades financieras y técnicas la ferrería continuó produciendo. Entre 1880 y 1884 ella operaba acompañada en el país por las de La Pradera, Pacho y Samacá y todas ellas lo hacían en forma relativamente satisfactoria. Al finalizar el siglo se reconoció que la actividad de la ferrería no solamente beneficiaba a la minería y la agricultura por el suministro de implementos y herramientas sino que serviría para impulsar y adquirir nuevos conocimientos en ingeniería, metalurgia y mecánica.

Después de varias reorganizaciones y refinanciamientos esta empresa pudo entrar al siglo XX con cierto éxito. La reactivación económica de 1906 (debida al acierto de las reformas económicas del General Reyes) la benefició porque determinó un aumento en la demanda de ruedas Pelton, despulpadoras, alambres y láminas galvanizadas que eran productos aprestigiados de la ferrería de Amagá.

En 1916 instaló un nuevo alto horno, capaz de producir 2 tons. diarias de hierro crudo. Trabajaban entonces 60 obreros en la empresa. En esos años entra en la producción más compleja de molinos californianos, bombas para agua y montacargas. Su mercado se había ampliado y se había acercado gracias a que hacia 1910 había llegado hasta Amagá el ferrocarril que venía desde Medellín. En esta forma la ferrería trabajó a lo largo de todos los años veintes. En 1931 terminó de construir un horno nuevo de mayores dimensiones, con capacidad de 5 tons. diarias, soplado con aire caliente, y ocupaba ya 100 trabajadores. Pero este ensanche se hizo justamente en el momento de estallar la gran crisis financiera y económica, a la cual la ferrería no fue capaz de sobreponerse y desde entonces prácticamente terminó su vida como productora de hierro primario.

Factores de Factibilidad de las Ferrerías

Si se considera el atraso de la economía colombiana en el siglo XIX, así como sus enormes limitaciones técnicas, resulta realmente admirable que en el país hubieran nacido y funcionado las cuatro ferrerías ya indicadas en aquel período. Pese a todas las dificultades que las aquejaron, las ferrerías hicieron un sustancial aporte a la economía del país, y fueron

en su tiempo un importante factor de industrialización que desplegó entre nosotros una tecnología compleja y avanzada para su época. A pesar de que ellas no ocuparon a ingenieros colombianos, puede decirse también que las ferrerías fueron un paso de avanzada en las técnicas de la ingeniería de aquel tiempo, no sólo en aspectos puramente metalúrgicos sino en otros, como las construcciones, el uso de la energía hidráulica y las altas temperaturas, que han sido siempre áreas pertenecientes al conocimiento y a la profesión de los ingenieros.

Fueron varios los factores que pueden explicar la aparición entre nosotros de estos primeros establecimientos fabriles en el campo siderúrgico. El primero de ellos fue la existencia de yacimientos de mineral de hierro que, si bien eran pequeños en cantidad, contenían materiales de buena calidad y estaban convenientemente situados cerca a yacimientos de carbón y de caliza, tanto en Cundinamarca como en Boyacá y en Antioquia. El segundo lugar, desde los primeros años de la república se estableció una demanda interna pequeña pero constante por productos de hierro fundido y de hierro forjado, tales como herramientas, partes para máquinas de minería, rieles, barras para ventanas, etc. Más aún, el abastecimiento desde Europa o Estados Unidos de estos productos muy pesados, resultaba muy costoso por los altos fletes. En tercer lugar, hay que recordar que el gobierno nacional apoyó financiera y comercialmente a las ferrerías de Cundinamarca y Boyacá concediéndoles privilegios de producción, préstamos con muy bajo interés, pedidos de productos con buenos precios, y en otras formas.

El apoyo del Estado de Boyacá a la ferrería de Samacá llegó hasta otorgarle grandes subsidios y finalmente a hacerse cargo de su operación. En Antioquia el gobierno del Estado no extendió ayudas financieras a la ferrería pero sí le otorgó el privilegio de producción que fue sin duda un soporte importante para ella cuando se creó.

Otro factor esencial para la vida de las ferrerías fue que la tecnología necesaria en aquel tiempo permitía construir plantas pequeñas, con una inversión comparativamente moderada, que los socios colombianos y extranjeros inmigrantes pudieron sufragar con recursos propios. No debe olvidarse tampoco que el país disponía de abundantes bosques para producir carbón vegetal a bajo costo, así como buenas minas de hulla, todo lo cual necesitaban las ferrerías para calentar los hornos y para convertir el mineral de hierro en metal por reducción química con carbón.

Un aspecto esencial en la vida de las ferrerías fue el aporte en conocimiento y experiencia técnica de los inmigrantes y visitantes que las fundaron y las operaron como buenos conocedores del oficio. Ese fue el caso de Wiesner, Daste, Perry, Bruce, Forest, Bunch, Bonnet, Agnew, Lutz y otros. Cabe también mencionar el mérito que corresponde al espíritu empresarial que ellos aportaron junto con inversionistas colombianos que arriesgaron su modesto recurso financiero en dichas empresas, como lo hicieron José María del Castillo y Rada, Lorenzo Codazzi, Pascasio Uribe y otros varios.

La Tecnología de las Ferrerías en el Siglo XIX

Cabe recordar que a mediados y fines del siglo pasado el acero era un producto muy poco conocido, aun en países desarrollados como Inglaterra y Estados Unidos. La industria siderúrgica internacional consistía básicamente en obtener hierro primario (también llamado hierro crudo, arrabio, fundición bruta o "pig iron"). Este se volvía a fundir en su mayor parte, en crisol o en cubilote para colar objetos de hierro gris o de hierro blanco. Otra parte menor del hierro primario se pasaba a hornos de pudelado donde se calentaba a altas temperaturas y se agitaba al aire, a mano, para oxidar el exceso de carbón del hierro crudo. Después de pudelado y descarbonizado el hierro se pasaba a un martillo o bien a cilindros laminadores, para forjarlo y darle maleabilidad. En esta forma se producían objetos de hierro forjado como barras, rieles, o piezas mecánicas de mayor resistencia, las cuales se vendían al comercio junto con las piezas de hierro fundido, así como barras y planchas de hierro forjado.

Hacia 1850 Inglaterra era el país más desarrollado del mundo y producía unos 2.5 millones de tons. anuales de hierro tanto forjado como de fundición. Al mismo tiempo su producción de acero era apenas de unas 40.000 tons. anuales.

La operación industrial de las ferrierías trataba de hacer lo que se indicó más arriba sobre la siderurgia internacional. Todas partían del mineral de hierro; lo cargaban en un alto horno con carbón vegetal o con coque. Agregaban caliza como fundente; encendían el alto horno al cual insuflaban aire y lo mantenían en combustión durante un lapso de 18 a 25 horas. Así obtenían el hierro

fundido en lingotes. Después, en un horno de cubilote, o al crisol lo convertían en artículos comerciales de hierro fundido; o lo pasaban a un horno de pudelado para convertirlo en hierro maleable, que se pasaba luego al martillo para elaborarlo como hierro forjado en barras o planchas.

Considerando las operaciones mecánicas y metalúrgicas de una ferrería típica de aquellas, puede decirse que ellas incluían en esencia las siguientes operaciones unitarias:

- a) Trituración de los minerales de hierro y de caliza para el alto horno y de arcillas para hacer ladrillos refractarios. En etapas iniciales y rudimentarias de las ferrierías se hacía en forma manual. Cuando ellas crecieron y se modernizaron se hacía con molinos de pisones movidos por fuerza hidráulica.
- b) Reducción del mineral a arrabio en altos hornos. Inicialmente estos hornos eran muy pequeños (de 4 a 6 mts. de altura y de 1 ó 1.5 tons. de producción por día). En las primeras épocas utilizaban carbón vegetal, pero a fines del siglo trabajaban con coque. Hubo tales hornos desde muy pequeños, hasta los más grandes, de 6 a 7 tons. diarias de hierro.
- c) Coquización de la hulla en pequeños hornos de colmena, sin recuperar los subproductos.
- d) Soplado de aire al alto horno con fuelles movidos por fuerza hidráulica. En las primeras épocas se aplicaba aire frío, pero posteriormente, con altos hornos más grandes, este aire era previamente calentado.

- e) Colado del hierro crudo o arrabio, directamente a moldes para formar algunos objetos o para formar lingotes.
- f) Refundición de los lingotes de hierro crudo en crisol o en cubilotes, para moldear objetos de hierro gris y hierro blanco.
- g) Pudelado del hierro crudo o arrabio en horno de reverbero, con agitación a mano, para descarburizarlo y obtener así hierro maleable, en lotes intermitentes conformados en bolas, aproximadamente de una arroba cada una.
- h) Recalentamiento de las bolas de hierro maleable para pasarlas al martillo, en una forja o martillo-pilón, accionado a vapor, para obtener hierro maleable forjado (en inglés: "wrogh iron").
- i) Como procedimiento alternativo al de martillo-pilón, las bolas de hierro pudelado y calientes eran forjadas en cilindros laminadores, accionados por vapor o fuerza hidráulica y que producían así el hierro maleable forjado, en forma de planchas o barras.
- j) Ocasionalmente, el hierro maleable también era refundido, posteriormente, en crisol o en cubilotes, para colar objetos fundidos que necesitaban ser de este material.
- k) Producción de ladrillos refractarios, a partir de arcillas molidas, mezcladas y moldeadas a mano o en máquina y cocidas en horno a alta temperatura. Estos ladrillos eran indispensables para hacer los recubrimientos internos del alto horno, del horno de reverbero, del cubilote, de los hornos para fundir en crisol y de

los hornos cerámicos en que se hacían los mismos ladrillos.

Una relación de los equipos que tenía la ferrería de Samacá hacia 1884, cuando estaba en el mejor momento técnico de su breve vida productiva, sirve para describir con muy buena aproximación lo que en ese tiempo podían tener las otras tres ferrerías del país en sus respectivas instalaciones. En ese momento las dotaciones de Samacá eran las siguientes:

- a) Varios hornitos de colmena para hacer coque a partir de hulla.
- b) Seis calderas de vapor y una de locomotora para generar potencia mecánica.
- c) Varios motores de vapor que accionaban el ventilador del alto horno, una sierra para madera, otras máquinas y las bombas de agua para las calderas.
- d) En alto horno de 15 mts. de alto y 12 mts de diámetro en la base; con 35 mts³ de capacidad interior; capaz de producir 7 tons. de hierro crudo en 24 horas; y equipado con sopladores y una estufa para calentar el aire de entrada.
- e) Un horno de cubilote (o de cuba) para refundir los lingotes de arrabio.
- f) Una sala de moldes para vaciar piezas fundidas en hierro.
- g) Un horno de reverbero, tipo "Pudler" (o de pudelado) para convertir la fundición blanca que se obtuviera en el alto horno, a hierro maleable; con capacidad de 30 quintales cada 24 horas.

- h) Un martillo o forja para lingotear el hierro maleable, con capacidad de 15 quintales por día.
- i) Una unidad de cilindros laminadores accionados por agua, para, elaborar el hierro maleable en planchas.
- j) Un horno para recalentar lingotes de hierro maleable, formados en el martillo, para laminarlos.
- k) Un horno para quemar caliza y convertirla en cal viva para cargar al alto horno junto con el coque y el mineral de hierro.
- l) Taller y herrería dotados de tornos, taladros, cepillo para hierro, acanaladora, desbastadora, pulidora, afiladora para herramientas, motor de vapor, fraguas y yunques.
- m) Carpintería dotada de cepilladora, escopleadora, afiladora para herramientas y otras máquinas para trabajar madera.

Además de estos equipos, bastante completos para su fin, la ferrería de Samacá llegó a comprar en Inglaterra una maquinaria adicional, que para su tiempo era bastante sofisticada y que incluía: máquina para laminar rieles, máquina para hacer hierro en barras, máquina para trefilar alambres, máquina para preparar el hierro pudelado para los cilindros laminadores, un martillo de vapor más grande, máquina para cortar las puntas de los rieles, máquina para enderezar y enrollar barras, máquina para hacer ladrillos refractarios, máquina para fabricar tuercas y tornillos, una grúa, un torno y un pequeño martillo de vapor.

Como se ve, las ferrerías utilizaban una tecnología muy actualizada en su tiempo, incluyendo, por ejemplo, el sople por aire caliente al alto horno, que había inventado Beaumont Neilson en 1829 y el martillo de vapor de alta potencia que habían inventado separadamente James Nasmyth en Inglaterra en 1839 y George Bourdon en Francia en 1840.

Los técnicos que dirigieron las operaciones en las ferrerías fueron todos extranjeros (ingleses, norteamericanos o franceses), formados en sus países de origen como ingenieros de escuela o como prácticos empíricos y que al venir a Colombia ya estaban curtidos en el ejercicio de los oficios de las ferrerías. Ese fue el caso de Pierre Daste en Pacho; de Eugène Bonnet y Eugène Lutz en Amagá, de Martín Terry, James Bruce, Michael Southan y Theodore Brown en Samacá; y de John James y Rafael Forest en La Pradera. Como el Colegio Militar de Ingeniería se fundó solamente en 1849 y en él no se enseñaba nada sobre metalurgia, y como en 1850 se prohibió absurdamente la expedición de títulos profesionales, los pocos egresados de ese instituto no estuvieron en condiciones de hacerse cargo de las complicadas y exóticas tareas técnicas de las ferrerías antes de que éstas se cerraran. En contraste, en Antioquia algunos ingenieros civiles y de minas de las primeras promociones de la Escuela Nacional de Minas trabajaron en la ferrería de Amagá, pero nunca dirigiendo las operaciones más especializadas como la del alto horno o el pudelado.

Las Fundiciones en Antioquia al fin del Siglo

El desarrollo de la minería aurífera en Antioquia determinó a lo largo del si-

glo XIX una acumulación paulatina de capacidades empresariales y conocimientos técnicos, tanto en inmigrantes europeos y en sus descendientes, como en personas oriundas de la región. Ese desarrollo minero —en especial el de la minería de filón— planteó una gran demanda de piezas y partes metálicas y mecánicas para equipo de minas, al mismo tiempo que la expansión de las siembras de café intensificó la demanda de aparatos y herramientas para el cultivo y beneficio de este grano. En estas circunstancias, durante el último tercio del siglo pasado surgieron en Medellín y en las poblaciones aledañas varias empresas pequeñas de fundición y taller mecánico, que mantuvieron vivo en ese departamento el interés por las técnicas metalúrgicas, que ya se habían manifestado desde la fundación de la ferrería de Amagá.

La más importante de esas industrias fue la fundición y taller de maquinaria que instaló, entre 1870 y 1873, el inmigrante alemán señor William Wolff cerca a la población de Titiribí para la empresa minera El Zancudo. Este taller duró muchos años. En él se construían partes para molinos de mineral, piezas de hierro y repuestos de toda clase para los equipos de la mina. En su tiempo fue uno de los establecimientos industriales más importantes del país y en él se popularizaron y se diversificaron los conocimientos y la experiencia empírica asociadas con esta actividad técnica. Allí se construyó el primer molino californiano que se hizo en Colombia y se mantuvo siempre contacto con diseñadores y constructores de maquinaria en Europa. Posteriormente el mismo Sr. Wolff instaló en Medellín su propia fundición en donde fabricó diversos aparatos para agricultura y partes para equipo minero.

Hacia 1875 algunos empresarios locales, asociados al señor Agustín Freidel, quien aportaba el conocimiento técnico, establecieron otra empresa para fabricar planchas de hierro, trapiches, fondos de hierro para trapiches, fondos de cobre y pisones de bronce. Esta empresa duró también hasta fines del siglo.

En 1888, el señor Jesús Villa, hermano del conocido ingeniero José María Villa, estableció otra fundición en Medellín para trabajar en fundición y forja de hierro y cobre, y para hacer trapiches, herramientas mineras y armas de fuego. En la misma época un pequeño capitalista y un mecánico de la población de Girardota crearon la Fundición de Metales de Girardota (1888) que sirvió por mucho tiempo como fundición de partes y taller de reparación para el ferrocarril de Antioquia y que llegó a tener instalaciones y capacidad técnica tan buenas que allí se repararon y reconstruyeron muchas máquinas que entonces se estaban importando para las primeras fábricas de textiles que se montaban en el departamento. La capacidad de fundición en este establecimiento fue inicialmente de 125 kilos diarios y andando el tiempo se amplió hasta 300 kilos diarios.

En la población de Caldas aparecieron varias fundiciones que fabricaban despulpadoras, trilladoras, bocartes y ruedas Pelton. Una de las más grandes fue del señor Antonio J. Quintero, quien poseía una extraordinaria habilidad para aprender experimentando y para resolver problemas técnicos con limitados recursos. Este taller llegó a ser uno de los principales fabricantes de maquinaria para beneficiar café, así como llegó a producir artículos tan variados como bocartes, pailas, arrastres, ollas, fondos para trapiches, taladros

para metales, relojes para torres de iglesias, cuchillos, ruedas de ferrocarril y repuestos de toda clase. Esta empresa continuó operando hasta después de 1910.

La Escuela de Artes y Oficios que fundó el Estado de Antioquia bajo la presidencia del General Pedro Justo Berrio, en 1864, fue un centro para divulgar y difundir las técnicas mecánicas y metalúrgicas necesarias para el fomento de la minería, el cultivo del café y las industrias fabriles que en ese tiempo comenzaban a desarrollarse. Allí se instalaron equipos tan importantes como tornos, taladros, fresas y otros para fabricar herramientas, movidos por energía de una máquina de vapor. Durante la guerra civil de 1876 en la escuela se fabricaban armas y municiones, que algunos consideraban tan buenas como las importadas. Se reparaba equipo agrícola y se fabricaban trapiches, despulpadoras de café, pulverizadoras de quinina, prensas para frutas, bombas para agua en las minas y repuestos para telegrafía. Estaba dotada con una fundición para hierro, cobre y bronce, que trabajaba como casi todas las de su tiempo con el sistema de crisol a fuego directo.

En 1896 apareció en Medellín una fundición pequeña, el taller de San José que se especializaba en la fundición de partes y en la construcción de trapiches, ruedas pelton y despulpadoras de tamaño reducido para pequeños cafeteros. En el mismo año tres socios antioqueños constituyeron la fundición de la Estrella, en la población de ese nombre, cerca a Medellín. Esta empresa prosperó extraordinariamente y llegó a ser una de las mayores productoras de máquinas para beneficiar café en Colombia, ya bien entrado el siglo XX. Años después de fundada se trasladó a la frac-

ción de Robledo, también cerca a Medellín y allí fue completamente reparada y reconstruida toda la maquinaria importada desde Inglaterra para establecer la Compañía de Tejidos de Bello. Con el nombre de talleres Robledo, funcionó durante muchos años hasta que a mediados del siglo XX fue absorbida por la Empresa Siderúrgica de Medellín. En 1916 empleaba 45 obreros, que para su tiempo era de un tamaño grande entre las fundiciones. Consta que entre 1914 y 1930 produjo 4.500 despulpadoras.

Estos establecimientos y otros menores dan prueba de un gran interés por la industria metalmeccánica ya desde aquel tiempo. Las máquinas, partes y repuestos que fabricaban se distribuían no sólo en Antioquia sino en el resto del país y es de destacar que algunos de esos artículos eran, en cierta medida de invención o de diseños autóctonos, adaptados a las necesidades específicas de los mineros, los ferrocarriles y los agricultores que los usaban.

Ciertamente, Antioquia fue el principal centro de fundiciones y talleres mecánicos a fines del siglo pasado. Pero también en otras regiones mineras y cafeteras se crearon establecimientos. Así ocurrió como por ejemplo en Bucaramanga, donde los hermanos Penagos, inmigrantes españoles sefarditas, instalaron a fines del siglo pasado una fundición que andando el tiempo ha llegado hasta nuestros días. La gran destreza técnica de los Penagos y sus obreros, les permitió fundir y maquinar en sus instalaciones, cañones que fueron usados por los ejércitos liberales durante la guerra civil de los Mil Días.

Al finalizar el siglo no había en Bogotá fundiciones de este estilo, porque los productos que inundaban el mercado

eran fabricados en las herrerías de La Pradera y Pacho que todavía trabajaban en aquellos años. En cambio se encontraban fundiciones pequeñas en Cartagena, Manizales y Palmira.

Aunque algunas de las cuatro herrerías produjeron artículos de hierro fundido en crisol, a fuego directo (además de que también fundían hierro gris y hierro blanco en cubilote todos ellos), el método de fundir al crisol se adoptó propiamente hablando, en el país, en las pequeñas y medianas fundiciones y talleres de Antioquia y algunas otras ciudades que se acaban de mencionar, durante los últimos decenios del siglo XIX.

Para la época en que se crearon, estos establecimientos entrañaban un nivel técnico bastante alto en nuestro medio. Basta considerar cuáles son los conocimientos y las técnicas en ingeniería que se requieren en una fundición de este tipo, aún de tamaño pequeño, para ser manejada con propiedad. Para este fin, es necesario tener conocimientos o experiencia práctica sobre los siguientes temas:

- a) Termometría. Calores de combustión. Capacidad calorífica y calor específico. Punto de fusión y calor de fusión. Fundentes y fluxes. Expansión térmica.
- b) Metales sólidos. Aleaciones. Estructuras microcristalinas. Corte mecánico de metales. Química de metales.
- c) Hornos y hogares. Hulla y coque. Ventilación. Ventiladores o fueles. Aislamientos térmicos. Materiales refractarios. Chimeneas. Cenizas.
- d) Crisoles: tamaños, materiales y formas. Moldeo.

- e) Ladrillo refractario. Arcillas, cuarzo y otros refractarios. Propiedades físicas de minerales cerámicos. Coccimiento de refractarios. Hornos para refractarios: diseño y operación. Aislamientos térmicos. Pírorresistencia.
- f) Arenas de moldeo. Materiales constituyentes. Granulometría. Puntos de fusión.
- g) Moldes. Construcción. Diseño. Coeficientes de expansión térmica. Respiraderos. Noyos, matachos, núcleos.
- h) Conducción de calor. Radiación. Convección.

Los conocimientos y las técnicas que demandaron las fundiciones en el siglo XIX fueron aportados por técnicos inmigrantes (como Wolff, Freidel y Penagos) y por nacionales que las aprendían a su lado o directamente en los talleres que fundaban (como Quintana, Villa, Estrada). En el caso de Antioquia la presencia de una escuela de buen nivel técnico, como la Escuela de Minas, influyó a través de sus egresados en la formación de estos talleres y en su mejoramiento técnico. En Bogotá ni el Colegio Militar de Ingeniería ni la Universidad Nacional tuvieron ningún influjo directo en este sentido, ya que esos institutos no impartían preparación específica en metalurgia a sus estudiantes. Además, la demanda por conocimientos técnicos en siderurgia se localizaba en las tres herrerías en el centro del país y era atendida por técnicos que esas mismas empresas trajeron del exterior.

Los Primeros Ferrocarriles y la Metalurgia

Como es bien sabido, desde los primeros años setentas del siglo pasado comenzaron a construirse ferrocarriles en el actual territorio colombiano (en 1849 había sido concluido el ferrocarril de Panamá). Entre 1870 y la guerra civil de 1885 se construyeron los ferrocarriles Barranquilla-Puerto Colombia y Cúcuta-Río Zulia, y se iniciaron los de Puerto Berrío-Medellín, Buenaventura-Cali, Dorada-Honda, Girardot-Facativá, Puerto Wilches-Bucaramanga y de La Sabana. La construcción de estos ferrocarriles planteaba una inusitada demanda por herramientas mecánicas, y el rodaje de los primeros trenes exigía el suministro de partes y repuestos de hierro y cobre, en una medida que antes no se conocía. Muchos de estos productos hubieron de ser fabricados en las ferrierías, especialmente en las de Cundinamarca y Boyacá. Pero pronto se vio que los ferrocarriles mismos debían tener, anexos a sus ferrovías, talleres equipados para fundir y maquinar partes y piezas, incluyendo en ellas algunas piezas de tamaño mayor.

Es bien sabido que el movimiento por la construcción de ferrocarriles fue despertado e impulsado por el auge del cultivo y exportación del café que necesitaba más y mejores vías de transporte al río Magdalena; por el ejemplo de otros países suramericanos que entraban con entusiasmo en ese mismo movimiento y por el apoyo financiero y fiscal que la Nación y los Estados soberanos dieron desde el principio a los ferrocarriles. En cuanto al surgimiento de los talleres en los ferrocarriles, ello fue una decisión impuesta por la urgencia inaplazable de atender a los problemas que imponían la construcción de las ferrovías y la operación de los tre-

nes y se facilitó considerablemente gracias a la comprensión de estos problemas por los ingenieros civiles que trazaban y construían las líneas férreas, y gracias a la actitud favorable para adoptar estas innovaciones tecnológicas.

En su tiempo fueron especialmente activos los talleres de Barranquilla, la Dorada, Girardot y Facativá. Se trataba aún de talleres pequeños que disponían sin embargo de hornos de fundición en crisol, tornos, fresadoras y otras máquinas para el trabajo de los metales. Allí se hacían y reconstruían piezas pequeñas y grandes para locomotoras y vagones; se torneaban y fresaban partes y repuestos y se aprendió el uso de la soldadura manual de plomo y estaño.

En los talleres ferroviarios se practicó y se divulgó el conocimiento de la fundición y el moldeo de piezas de cobre, bronce, latón, hierro y acero; se trabajó en el torneado, fresado y cepillado de metales; se practicó, por primera vez, el diseño mecánico elemental y el dibujo de máquinas. Se aprendió a distinguir las diferencias de los metales en sus propiedades mecánicas. Se construyeron por primera vez partes y piezas metalmeccánicas pesadas y se adquirió familiaridad con la operación de equipos industriales que antes estaban confinados a las ferrierías, como el cubilote para fundir hierro, las calderas y los motores de vapor, los hornos para fundir, las máquinas-herramientas para trabajar metales, las forjas y las fraguas, etc.

Estos talleres fueron instalados por los ingenieros constructores de los ferrocarriles, quienes suplían su falta de experiencia con una buena preparación técnica básica. Ellos eran ayudados por operarios que rápidamente se capacita-

ban en conocimiento de estos nuevos recursos técnicos y en su manejo. Cabe señalar que desde que vinieron al país los Padres Salesianos y establecieron sus conocidas escuelas industriales, ellos empezaron a enseñar oficios como el de fundidor y otros particularmente bien adaptados a la operación de los talleres ferroviarios.

En los años finales del siglo XIX, los mencionados talleres ferroviarios, junto con las ferrerías de Amagá y La Pradera (únicas que funcionaban hacia 1899), así como las fundiciones y talleres ya mencionados en Antioquia y Bucaramanga, constituían el plantel industrial siderúrgico-metalmeccánico en Colombia.

La Metalurgia y la Escuela de Minas

Desde muy temprano en el siglo pasado, el interés en la minería aurífera de filón, que entonces comenzó a cobrar especial auge, llamó la atención, en Antioquia, sobre las actividades técnicas asociadas a la explotación del oro. Ya se mencionó cómo vinieron desde 1825 al país varios ingenieros europeos para mejorar el nivel técnico de la minería en Antioquia: Boussingault, Moore, De Greiff, Nisser, etc. De ellos aprendieron los mineros e ingenieros antioqueños varios saberes y actividades técnicas relacionadas con las minas de veta de metales preciosos. Los rudimentos de la hidráulica, mucho de mineralogía y geología, las prácticas topográficas, la química de los metales, y técnicas metalúrgicas como la amalgamación, la cianuración, la fusión y la copelación del oro y de la plata. Los primeros ingenieros que hubo en Antioquia, que estudiaron en Estados Unidos y en Bogotá consagraron especial interés al estudio de la metalurgia, como fue el caso de Santiago Ospina, Vicente Res-

trepo, Luis Tisnes, Francisco de Paula Muñoz, Tulio Ospina y otros.

Con estos antecedentes es muy explicable que desde cuando se fundó la Escuela de Minas en 1888, esta institución estableció su cátedra de Metalurgia. Esta cátedra estaba especialmente orientada al conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los metales preciosos y a su aplicación para extraerlos y refinarlos; pero en todo caso no se podía omitir en ella el tratamiento más general y más amplio de las ciencias metalúrgicas, para todos los metales, mencionando especialmente los procesos, las propiedades y los usos del hierro y el cobre y sus aleaciones, que eran los metales más generalmente usados en su tiempo. Este interés por la metalurgia en la Escuela de Minas, y los conocimientos allí impartidos a sus egresados, llevó a varios de éstos a interesarse y a trabajar no sólo en minas de oro y plata sino en talleres y fundiciones como la de El Zancudo, la ferrería de Amagá y los varios talleres mencionados que se formaron en Medellín y sus poblaciones vecinas de aquella época.

Es interesante notar en cambio, que ni el Colegio Militar de Ingeniería ni la Universidad Nacional tuvieron cátedra de Metalurgia a lo largo del siglo XIX, y que por esta razón, entre otras, los ingenieros de Bogotá no se vieron vinculados a empresas o actividades de esta índole, sino hasta cuando, como diseñadores y constructores de ferrocarriles, se vieron necesitados de instalar los talleres de fundición y reparación de que ya se habló.

A fines del siglo pasado, el texto de enseñanza de esta materia en la Escuela de Minas era la de Métallurgie Le Verrier, que daba un buen tratamiento tanto a los aspectos de metalurgia quí-

mica como a los de metalurgia física y trataba más particularmente los casos del hierro, el cobre, sus aleaciones y los metales preciosos.

Dos textos clásicos de metalurgia

Escrito en Inglaterra en 1864, el libro de John Percy, traducido al francés con el nombre de "Traité complet de Métallurgie", constituía, a fines del siglo pasado, el más extenso y completo compendio de conocimientos sobre la metalurgia y sus aplicaciones industriales, que se tuvieran en Europa y América. Distribuido en cinco gruesos volúmenes, el libro de Percy era realmente una enciclopedia sobre los conocimientos empíricos y la ciencia metalúrgica del momento. Un repaso de su contenido permite mostrar el gran avance que esta ciencia había experimentado en los años iniciales y a mediados del siglo XIX. Siendo éste un libro obligado de referencia para los profesores y estudiantes de la Escuela de Minas entre 1870 y 1920 la relación de su contenido muestra también el buen grado de información y saber metalúrgico que se impartía en esa institución.

El contenido del libro de Percy era el siguiente:

I. TOMO PRIMERO

- Introducción
- Panorama histórico de la Metalurgia
- Hierro
- Acero
- Cobre
- Estaño
- Plomo
- Zinc
- Níquel
- Metales diversos
- Oro y plata

Libro Primero. Consideraciones Generales sobre los Procedimientos Metalúrgicos
Minerales
Procedimientos metalúrgicos
Escorias

Libro Segundo. Combustibles
Poder calorífico
Intensidad calorífica
Clasificación de combustibles
Madera, Turba, Hulla, Carbón vegetal, Carbón o coque de Turba, Coque, Gas combustible.

Libro Tercero. Materiales Refractarios Naturales que sirven para la fabricación de Crisoles, Mol-des y Ladrillos Refractarios para Hornos, etc.
Arcillas refractarias
Crisoles
Hornos de viento
Ladrillos refractarios

Apéndices:

1. Turba
2. Limpieza de carbones
3. Hornos de coque
4. Horno Appolt
5. Hornos Siemens
6. Productos Refractarios

II. TOMO SEGUNDO

Libro Primero. Propiedades físicas y químicas del Hierro
Propiedades físicas
Hierro Puro. Hierro Cristalino
Propiedades químicas
Hierro y oxígeno. Hierro y agua. Hierro y azufre. Sulfuros de hierro tostados al aire. Hierro y nitrógeno. Hierro y fósforo. Manganeseo y silicio. Hierro y arsénico. Silicio. Manganeseo y silicio. Hierro y silicio. Hierro y boro. Hierro y carbón. Hierro e hidrógeno. Acción del ácido sulfúrico o del ácido clorhídrico sobre fundición.
Aleaciones del Hierro
Hierro y cobre. Hierro y zinc. Hierro, cobre y zinc. Hierro y manganeseo. Hierro y estaño. Hierro y titanio. Hierro y plomo. Hierro y antimonio. Hierro y bismuto. Hierro y níquel. Hierro y cobalto. Hierro y mercurio. Hierro y plata. Hierro y oro. Hierro y platino. Hierro y rodio. Hierro y paladio. Hierro e iridio-osmio. Hierro y aluminio. Hierro y cromo. Hierro y tungsteno. Hierro y molibdeno. Hierro y vanadio. Hierro y tántalo. Hierro y potasio. Hierro y glucinio. Hierro y estroncio. Hierro y bario. Hierro y calcio. Hierro y magnesio.
Minerales de hierro
Ensayo de los minerales del hierro
Ensayos por vía seca. Ensayos por vía húmeda

Libro Segundo. Extracción directa del hierro en estado maleable de su mineral. Hierro fundido en la India; en Birmania; en Borneo; en Africa; en Madagascar. Procedimiento catalán. Proce-

dimiento ligur. Fundición en Stuckofen. Horno sueco o de Osmund. Stuckofen u horno de lascas. Procedimiento Clay. Procedimiento Renton. Procedimiento Chenot. Procedimiento Yates.

Apéndices:

1. Descripción de los minerales de la Gran Bretaña
2. Métodos analíticos del Laboratorio Metalúrgico y de la Escuela de Minas de Londres
3. Minerales de Francia

III. TOMO TERCERO

Libro Tercero. Extracción Indirecta del Hierro en estado Maleable de su Mineral.

Descripción de los Altos Hornos

Máquinas sopladoras

Aire caliente

Gases de Altos Hornos

Formas y dimensiones de los Altos Hornos

Manejo de los Altos Hornos

Escorias de los Altos Hornos

Accidentes de los Altos Hornos

Análisis del Hierro Colado

Cargas y rendimientos de los Altos Hornos

Dimensiones, cargas y rendimientos de Altos Hornos en Prusia

Libro Cuarto. Conversión de la Fundición en Hierro Maleable.

Apéndices:

1. Hornos de tostación
2. Máquinas sopladoras
3. Aparatos de aire caliente
4. Accesorios de ventiladores
5. Extracción de gases en altos hornos
6. Monta-cargas
7. Construcción de altos hornos
8. Forma, dimensiones y condiciones de trabajo de altos hornos
9. Manejo de altos hornos
10. Modos de tratamiento particular
11. Descripción y operación de plantas de fundición
12. Calidad y clasificación de las fundiciones

IV. TOMO CUARTO

Pudelado

Trabajo de la bola de hierro

Conversión del hierro bruto en hierro comercial o hierro terminado

Fabricaciones especiales

Calidades de los hierros

Procedimientos diversos

Planos de plantas de hierro

V. TOMO QUINTO

Del Acero

Fabricación de acero por adición de carbón al hierro maleable

Fabricación de acero por descarburación parcial de la fundición

Fabricación de acero por fusión de hierro gris con hierro maleable

Acero fundido

Propiedades físicas

Propiedades químicas

Fabricación de cobre en Gran Bretaña

Fundición del cobre

Extracción del cobre por vía húmeda

Metalurgia del Zinc

Propiedades físicas

Propiedades químicas

Procedimientos de extracción del zinc

Ensayo de minerales de zinc

Del Latón

Fabricación del latón.

El grado de pormenor y de rigor que se aprecia en el libro de Percy era bien típico de los tratados europeos especializados en algún tema científico o técnico. Esa escuela europea, y particularmente la francesa, era la que dominaba en nuestro medio hasta entrar en el siglo XX. Pero en los primeros años de ésta última centuria se empieza a sentir la nueva influencia de la tecnología norteamericana, más dirigida a las aplicaciones industriales y menos prolija en los fundamentos científicos de la metalurgia. Una buena muestra de esto es el texto "Principles of Metallurgy. An Introduction to the Metallurgy of the Metals", del autor Charles Herman Fulton y que comenzó a usarse como texto en la Escuela de Minas hacia 1915 cuando los profesores de la materia eran el ingeniero belga Enrique Ehrensperger y el ingeniero colombiano Fernando Escobar. Siendo el libro de Fulton un texto prototipo de lo mejor de su tiempo en metalurgia, es ilustrativo exponer su contenido, que estaba organizado en 14 capítulos así:

Capítulo I. Metales y Metalurgia desde el punto de vista histórico
 Capítulo II. Mezclas físicas y análisis térmico
 Capítulo III. Propiedades físicas de los Metales
 Capítulo IV. Aleaciones
 Capítulo V. Propiedades físicas de Aleaciones
 Capítulo VI. Medición de altas temperaturas
 Capítulo VII. Operaciones Metalúrgicas Típicas
 Capítulo VIII. Escorias
 Capítulo IX. Matas sulfurosas, buliones crudos y speise
 Capítulo X. Materiales refractarios para hornos
 Capítulo XI. Combustibles
 Capítulo XII. Combustión
 Capítulo XIII. Hornos. Producción y Calentamiento de Sople
 Capítulo XIV. Un ejemplo que ilustra la química y la física de una operación de colada. El horno soplado para cobre.

El Siglo XX antes de la Gran Crisis

Al terminar la guerra civil de los Mil Días, las pequeñísimas y muy escasas industrias colombianas estaban al borde de la ruina. Fueron las reformas monetarias y arancelarias del General Reyes y su inteligente política de fomento a la inversión, lo que reanimó la débil actividad fabril. Antioquia fue la principal beneficiaria de la nueva situación gracias a que se había salvado de la destrucción física de la guerra y a que en ese momento comenzaba a recoger el fruto de la acumulación de capitales que se habían formado alrededor de la minería del oro.

En los primeros decenios del siglo XX, varios talleres y fundiciones continuaron sus actividades en ese departamento, fabricando con relativo éxito máquinas agrícolas y para minería. Entre ellos estaba la ferrería de Amagá, que fue la única que continuó funcionando después de 1905 (cuando se clausuró La Pradera) hasta 1931, cuando se apagó el alto horno en Antioquia. Hay evidencia además, de que en esos años surgieron varias fundiciones nuevas en Medellín, Sonsón, Manizales y Armenia.

Entre 1910 y 1920, la expansión del cultivo del café amplió en gran medida el mercado de aparatos para beneficiar el grano que producían las fundiciones. Asimismo, en la misma época se montaron nuevos talleres de mantenimiento y reconstrucción en los ferrocarriles, que fueron tan decididamente impulsados durante el gobierno de Reyes. Simultáneamente empezaban a recogerse los resultados de la labor didáctica de los Padres Salesianos que habían establecido sus institutos de enseñanza vocacional y técnica en los fines del siglo XIX.

En los talleres ferroviarios, en las pequeñas fundiciones y en algunas fábricas incipientes de artículos metálicos fue donde se adoptó a fines de los años diez o a principios de los años veintes la soldadura autógena (oxi-acetilénica). Es casi seguro que también en esa época y en esos establecimientos empezaron a usarse máquinas para doblar tubos y láminas de hierro y acero.

En aquella época los talleres ferroviarios más grandes eran los de Facatativá y Girardot, a los cuales seguirían poco tiempo después los de Chipichape (Cali) y Bello (Antioquia). Andando el tiempo (hacia 1940) el taller de Chipichape era considerado como el mejor taller de ferrocarriles en Suramérica. Estaba dotado de una excelente fundición con crisoles y cubilotes; de excelentes talleres de maquinado y ajuste; de una gran carpintería; de un completo salón de modelos; de prensas y otras máquinas para deformación; de una casa redonda; de excelentes instalaciones para reparaciones eléctricas; etc.

Desde los primeros años veintes en adelante se intensifica el trabajo en las fundiciones del país, las cuales desde entonces comenzaban a operar princi-

palmente con cubilotes en lugar de crisoles para fundir cargas más grandes. Este impulso a la actividad fundidora se debía ahora a cinco factores económicos nuevos que fueron todos resueltamente impulsados por el gobierno del General Pedro Nel Ospina (1922-1926):

- a) La aparición de varias industrias de distinto tipo en las principales ciudades, que requerían accesorios y piezas de repuestos que las fundiciones nacionales podían hacer.
- b) La intensificación de la construcción de ferrocarriles y del mantenimiento de trenes, que demandaban herramientas y partes para el material rodante.
- c) La construcción de carreteras y la consecuente importación de vehículos, que dieron lugar a un vigoroso crecimiento del parque automotor, y a una mayor demanda por repuestos y por talleres para reparar automotores.
- d) El activo interés por dotar de servicios públicos a las principales ciudades y poblaciones, especialmente en materia de acueductos y alcantarillados. Esto conducía a demandas adicionales de piezas fundidas para accesorios de acueductos.
- e) El aumento del cultivo y de la exportación de café, el fomento a la producción de caña y a la fabricación de azúcar, todo lo cual amplió la demanda por piezas y artículos de hierro fundido.

Entre 1920 y 1930 el plantel industrial metalúrgico y metalmecánico del país aún era muy pequeño, pero ya constituía un factor importante de la naciente producción industrial. Este plan-

tel estaba constituido por unas 20 ó 25 fundiciones de diversos tamaños localizados en Medellín, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Manizales, Ibagué, Armenia y Barranquilla. Funcionaban también en plena actividad talleres ferroviarios en Facatativá, Girardot, Cali, Bello, Zipaquirá y Barranquilla. Además, había algunas industrias particulares, relativamente nuevas que se habían establecido para construir máquinas (por ejemplo, Talleres Robledoy Talleres Apolo en Medellín; Penagos Hermanos y Famagrín en Bucaramanga), muebles metálicos (por ejemplo, Industrias Metálicas de Palmira en dicha población y Elospina en Medellín), grapas y puntillas (por ejemplo, Lloreda en Cali), etc.

En estas industrias metalúrgicas los conocimientos técnicos eran más bien rudimentarios y eran puestos por operarios y directores empíricos que habían aprendido sus oficios en establecimientos similares o en las escuelas vocacionales de los Salesianos. Puede decirse que de esas industrias estaban casi totalmente ausentes los pocos ingenieros profesionales que ya habían en el país, excepto en los talleres ferroviarios. En realidad los primeros ingenieros profesionales graduados en facultades del país que trabajaron en industrias metalúrgicas fueron algunos egresados de la Escuela de Minas que se vincularon a talleres y fundiciones antioqueñas, y unos pocos graduados en la Universidad Nacional que entraron a los talleres ferroviarios en los años diez y veinte de este siglo.

La Primera Acería Nacional

Cuando la ferrería de Amagá dejó de producir hierro en 1931, la industria metalmecánica quedó reducida a las

pocas fábricas de manufacturas que ya se habían establecido, junto con los talleres de ferrocarriles, con varias fundiciones y con algunos pequeños talleres para reparaciones en 3 ó 4 ciudades mayores. Cabe mencionar que fue en estos establecimientos donde comenzó a usarse a mediados o a fines de los años treinta el procedimiento de soldadura al arco eléctrico, que hoy es de uso universal.

En el decidido proceso de industrialización que se dio en los años treinta, una vez superada la Gran Crisis financiera, se hizo notar el interés por establecer nuevas empresas metalmeccánicas, así como de otros varios tipos. En esta forma surgió en 1935 en Copacabana (Antioquia) la primera fábrica de artículos en lámina de aluminio que hubo en el país (Imusa). En ella se empleaban por primera vez las técnicas de repujado y troquelado de aluminio en discos y láminas. En 1938 los hermanos Jaramillo Rodríguez fundaron en Bogotá, la empresa Talleres Centrales, una de las primeras que trabajó en el campo de la carpintería metálica pesada, empleando para ello máquinas que hasta entonces no se habían conocido en el país, como las dobladoras y las roladoras para lámina de acero.

Pero la producción siderúrgica propiamente dicha había desaparecido con el alto horno de Amagá. En 1938, como resultado de los estudios y la iniciativa técnica del ingeniero Julián Cock y del espíritu empresarial del señor Jesús Mora, inició su producción en esa ciudad la empresa Siderúrgica de Medellín que fue la primera fábrica de acero en el país. Ella retomó el hilo de la industria siderúrgica, pero ya con los productos y los procesos del siglo XX, para fabricar acero y ya no hierro. La empresa instaló, por primera vez en Colombia,

un pequeño horno eléctrico trifásico para producir el acero, un horno de carbón para recalentar lingotes, un pequeño tren de laminación para palanquilla y un laminador para elaborar barras redondas para refuerzo de concreto. Su capacidad inicial era de unas 1.000 ó 1.500 tons. anuales de acero. Consumía chatarra de hierro y acero y electricidad. El know-how fue suministrado inicialmente por técnicos de las empresas extranjeras que fabricaron los equipos para la planta y prontamente fue asimilado por los operarios, los supervisores y los ingenieros colombianos que, desde el principio asumieron el manejo técnico de la empresa.

Con la primera fábrica de acero, aún de tipo semi-integrado, el país entraba en una nueva forma de industrialización y de desarrollo siderúrgico, mucho más avanzado de lo que significaron las ferrierías en el siglo pasado. Esta importante innovación industrial y técnica fue el resultado de numerosas circunstancias favorables que se conjugaron para producirla. Entre esas circunstancias se destacan las siguientes:

- a) El surgimiento de una demanda local importante de barras y varillas de acero para refuerzo de concreto, determinada por el auge de la construcción de edificios y de obras públicas en Antioquia, en los años veintes y treinta.
- b) La disponibilidad abundante y barata de energía eléctrica en Medellín desde cuando se inauguró, en 1932 la primera central hidroeléctrica de Guadalupe.
- c) La aparición de un mercado local de chatarra de hierro y acero, originada en las industrias que ya se habían establecido desde principios del si-

glo, en los ferrocarriles y en los vehículos automotores.

- d) La fuerte ventaja comparativa de la producción local ante la producción importada, debido al alto peso del acero y a los altos fletes consiguientes.
- e) La ventaja económica de ser, en ese momento, la primera y única fábrica del producto dentro del país.
- f) Las políticas de protección y estímulo para el desarrollo industrial que caracterizaron a los gobiernos de los años treinta.
- g) La capacidad y el vigor de la iniciativa empresarial privada en Antioquia, en esa época.
- h) El tesón y el esfuerzo técnico del ingeniero Julián Cock, que se graduó con una tesis sobre fábricas siderúrgicas, y que con muchos esfuerzos se empeñó en convertirla en realidad hasta crear esta nueva fábrica.
- i) La disponibilidad de mano de obra calificada y semi-calificada en los oficios de esta industria, y que se habían formado en la escuela vocacional de los Salesianos en Medellín y en los talleres del ferrocarril en la vecina población de Bello.

La Siderúrgica de Medellín fue la única en el país que produjo acero, y, como tal trabajó sola durante 10 años hasta cuando apareció en 1948 la empresa Siderúrgica del Muña cerca a Bogotá.

Desde el momento cuando se fundó la empresa de Medellín, la industria siderúrgica comenzó a ser un nuevo cam-

po de trabajo para los ingenieros formados en las escuelas y universidades del país; y aunque estos últimos en realidad eran graduados como ingenieros civiles, ellos demostraron una notable aptitud para desplegar y manejar los conocimientos y las técnicas que requería la nueva industria.

Los conocimientos y las técnicas de ingeniería cuyo dominio requería (y requiere) el manejo de una acería semi-integrada son los siguientes, expresados en una terminología contemporánea:

1. Mecánica de cuerpos rígidos: movimiento lineal, momentos de inercia, rotación, energía cinética, energía potencial, rozamiento, potencia mecánica, resistencia de materiales, mecanismos, diseño de máquinas.
2. Termotecnia: termometría, pirómetros; gradientes térmicos, calor específico, calores de combustión, fusión, calor latente, conducción de calor, radiación.
3. Mecánica de gases: caudales de gases, presión y temperatura, conductos, energía e impulso, sopladores y ventiladores, compresores, enfriamiento y calentamiento de gases, intercambios de calor, convección, tiro térmico diferencial, chimeneas.
4. Metalurgia ferrosa: hierro, carbono y acero, fósforo, azufre, silicio y manganeso en el hierro; diagrama de fases; estructuras cristalinas de hierro; propiedades mecánicas de hierro y acero; arrabio y hierro gris; hierro maleable o forjado; cementación; aceros corrientes; laminación; forjado; trefilación; fundición; soldadura; escorias del hierro.

5. Electrotecnia: energía y potencia eléctrica, circuitos monofásicos y trifásicos, transformadores, arco eléctrico, motores eléctricos, caldeo por inducción.
6. Materiales refractarios: arcillas, cuarzo y otros minerales refractarios; refractarios ácidos y básicos; aislamiento térmico de hornos.

La Metalurgia en la Escuela de Minas en los Años Treintas

Fue en los años treinta cuando los ingenieros profesionales "de escuela" comenzaron a vincularse como técnicos a la naciente industria metalúrgica y metalmecánica en número apreciable. En el siglo pasado, en las ferrerías, los puestos técnicos habían sido desempeñados, como ya se dijo, por expertos más o menos empíricos, ingleses, franceses y norteamericanos. En las fundiciones que subsistieron, habían sido desempeñados por técnicos-empresarios inmigrantes o nacionales, que las instalaban y las operaban porque conocían el oficio a través de la práctica.

Al margen de la actividad industrial, la tradición minera de Antioquia había implantado en la Escuela de Minas de Medellín un decidido interés por la metalurgia y sus ciencias afines. Ciertamente este interés se dirigía de preferencia hacia los metales nobles y sus técnicas de explotación y beneficio; pero forzosamente tocaba también con dicha ciencia en sí misma y con sus aplicaciones en otras actividades industriales. En cambio, ni en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá ni en la facultad de ingeniería de la Universidad del Cauca en Popayán se dedicaba mayor interés a estas disciplinas, porque tales institutos ha-

cían mucho más énfasis en las ciencias teóricas básicas de la ingeniería (especialmente en matemáticas) y en los aspectos de la profesión referentes a la construcción de vías (cartografía, suelos, resistencia de materiales, diseño de vías).

Una buena muestra del interés que se daba en la Escuela de Minas de Medellín a este campo, está constituida por las tesis de grado que fueron presentadas y aprobadas en ese instituto antes de 1939, y que se indican a continuación señalando el año, el autor y el tema:

Año	Autor	Tema
1894	Sotero Peñuela	Bocartes
1914	Darío Botero Isaza	Cianuración
1916	Carlos Gutiérrez Bravo	Apartado y afinación de metales
1917	Alejandro Botero L.	Amonedación de Oro y Plata
1925	Francisco A. Vargas	Concentración mecánica de Minerales
1925	Miguel Alvarez U.	Metalurgia de El Zancudo
1930	Víctor Camargo	Sistemas de Cementación
1931	Jesús Londoño	Talleres para Ferrocarriles
1932	José D. Moreno	Elaboración de Hierro y Producción de Acero por Horno Eléctrico
1933	Julián Posada	Microscopía y rocas
1934	Roberto López	Frenos de locomotoras y de carros
1937	Gilberto Botero	Molinos para trituración de Minerales.

La preponderancia de los estudios metalúrgicos y mineros en la Escuela de Minas tuvo una clara expresión cuando esa institución, en 1939 suspendió el título de ingeniero civil y de minas, que antes concedía conjuntamente, separó la Escuela de Ingeniería Civil y creó la Escuela de Minas y Metalurgia así como la de Geología y Petróleos.

Los Años Cuarentas

Al comenzar el nuevo decenio en 1940 el plantel industrial siderúrgico y metalmeccánico estaba constituido por los siguientes integrantes:

- a) La empresa Siderúrgica de Medellín, que estaba recién fundada y que fabricaba acero en barras.
- b) Numerosas fundiciones de hierro que operaban en varias ciudades del país con cubilotes o con hornos de crisol.
- c) Algunas pequeñas coquerías con hornos de colmena, sin recuperación de subproductos, que producían coque para las fundiciones.
- d) Varios talleres que fabricaban máquinas agrícolas, como Apolo en Medellín, Penagos en Bucaramanga, Vigig en Armenia y otros.
- e) Algunas fábricas pequeñas de muebles metálicos como Elospina en Medellín, e Industrias Metálicas de Palmira.
- f) Los grandes talleres de los ferrocarriles nacionales y departamentales en Facatativá, Girardot, Chipichape, Bello, Manizales, Cúcuta y Barranquilla.
- g) Numerosos talleres de metalistería, en las ciudades principales dedicados a la reparación de vehículos y de máquinas agrícolas e industriales.

Fue en algunos de estos establecimientos donde se implantó, por primera vez, en el país, a comienzos de los años cuarentas el uso de la galvanoplastia electrolítica, como tratamiento para el acabado de superficies metálicas.

Un paso de gran importancia para la futura industrialización del país dio el gobierno del Presidente Santos y de su Ministro Lleras Restrepo, en 1941, cuando se fundó el Instituto de Fomento Industrial, el cual ha tenido desde entonces y hasta nuestros días una gran influencia estimulante en el desarrollo, el avance y la diversificación de las industrias siderúrgicas y metalmeccánicas de todo el país, así como de muchas otras ramas fabriles. Con el paso de los años el I.F.I. se convertiría en un activo promotor y financiador de empresas siderúrgicas y metalmeccánicas que hoy son parte importante del inventario industrial con que cuenta el país.

En el año de 1943 comenzó sus operaciones la Siderúrgica Corradine, que fue instalada por los hermanos de este nombre, de origen inglés, cerca a la población de Subachoque, no lejos de donde había estado, 40 años atrás, la ferrería de La Pradera. La nueva empresa (que aún existe hoy) se asemeja en mucho a las antiguas ferrerías, aunque con una técnica bastante mejorada. Esta empresa procesaba el mineral de hierro con coque y caliza para producir hierro fundido, con el cual fabricaba (y fabrica aún) numerosos artículos para acueductos, repuestos para máquinas y de otras clases. Desde que nació esta empresa, ha operado un pequeño alto horno que ha sido ampliado y reconstruido en varias ocasiones; y ha dispuesto de sus propios hornos de colmena para fabricar el coque, y de sus instalaciones de moldeo y de colada para vaciar el hierro fundido. Su capacidad fue inicialmente de unas 1.000 tons. por año y hoy es tal vez de unas 3.000 tons. por año. Los procesos que utiliza son, en esencia los mismos que empleaban las ferrerías en el siglo XIX, pero más refinados en sus técnicas y en sus instrumentos de trabajo. Esos pro-

cesos incluyen la coquización de la hulla, la reducción del mineral de hierro en el alto horno para obtener arrabio, la refinación del arrabio y su refundición para obtener artículos de hierro fundido. La tecnología inicial fue aportada por sus fundadores y con el paso de los años ha sido perfeccionada y modernizada por ellos, por sus descendientes que se han capacitado para hacerlo, y por los ingenieros que han pasado por la empresa.

La segunda acería que se estableció en el país fue la Empresa Siderúrgica del Muña en 1947. Instaló un pequeño horno eléctrico y un tren de laminación, al sur de Bogotá, para producir varillas de acero y también para fundir hierro y hacer piezas vaciadas de metal fundido. Esta empresa, que aún existe, ha seguido siendo una de las principales siderúrgicas semi-integradas gracias a las condiciones de desarrollo que ha habido para esta industria y a la capacidad técnica de los ingenieros que la han manejado.

Los Primeros Años Cincuentas

Al comenzar la segunda mitad del siglo XX había un buen grupo de empresas siderúrgicas y metalmecánicas en donde trabajaban numerosos ingenieros civiles que, aprendiendo en el oficio, se habían adaptado para desempeñar idóneamente las tareas metalúrgicas propias de estas empresas.

El plantel industrial incluía un buen número de fábricas de algún tamaño considerable: Siderúrgica de Medellín, Siderúrgica del Muña, Siderúrgica Corradine, unas treinta o más fundiciones de hierro, Talleres Centrales, Taller Apolo, los talleres de los ferrocarriles, Penagos Hermanos, Famagrín, Indus-

trias Metálicas de Palmira, Elospina, Talleres Delta, Taller de Occidente, Imusa y otras menores. Como productoras de acero, la capacidad de producción de la Siderúrgica de Medellín era de 5.000 a 6.000 tons. por año, y de la Siderúrgica del Muña era de 2.000 a 2.500 tons. por año.

El tratado diplomático y de comercio que había firmado con Estados Unidos en 1922 el gobierno del General Ospina, había bloqueado la mitad del arancel aduanero, restringiendo la posibilidad de producir bienes intermedios y de capital en nuestro país, debido a la cláusula de más favor que se otorgó a dicha potencia, sin compensación adecuada ni reciprocidad para nosotros. En consecuencia, de modo indirecto pero efectivo, el tratado retrasó la aparición de industrias fabricantes de maquinaria y equipo en Colombia hasta cuando fue terminado bilateralmente en 1950. A no ser por este tratado, el país hubiera podido comenzar mucho antes a fabricar algunos bienes de capital. Ahora, al ser rescindido, permitió hacer una reforma arancelaria que dio mayor protección para comenzar a producir un buen número de manufacturas metálicas. Fue así como nacieron entonces nuevas empresas: Landers Mora en Medellín, en 1950, con una gran fundición de cubilote; Distral en Bogotá, empezó a construir las primeras calderas acuatubulares que se ensamblaron en el país; Estructuras H.B. en Bogotá, dirigida por el ingeniero César García Álvarez, inició el diseño y la construcción de estructuras pesadas y puentes de acero. Además, los nuevos productos que comenzaron a fabricarse dieron lugar en la misma época a que se adoptaran nuevos procesos metalmecánicos como el troquelado liviano, con corte y sin corte, en varias pequeñas y medianas fábricas; así como la instalación de las

primeras prensas mecánicas de fricción para el embutido de lámina metálica.

Paz del Río.

Desde los primeros años cuarentas, se habían descubierto, en la región entre Sogamoso y Paz del Río, en Boyacá, grandes yacimientos de mineral de hierro (hematita) junto a grandes yacimientos de hulla y de caliza. El ingeniero boyacense Olimpo Gallo había estudiado la calidad de estas reservas y había comenzado a propugnar por su beneficio para producir acero. En consecuencia, en 1948, el gobierno del ingeniero Mariano Ospina Pérez encargó al Instituto de Fomento Industrial hacer los estudios correspondientes, y dispuso una contribución forzosa a los contribuyentes para financiar la nueva empresa. Los estudios geológico-mineros fueron hechos por los ingenieros Benjamín Alvarado y Vicente Suárez Hoyos. El proyecto industrial fue encomendado a un consorcio francobelga que hizo el diseño de la planta y suministró los equipos. Después de seis años de trabajos la siderúrgica de Paz del Río fue inaugurada en junio de 1954.

Son varios los factores a los que puede atribuirse la realización de esta obra que en su tiempo era la más ambiciosa y la de más aliento que se hubiera construido en Colombia. El primero de esos factores fue el descubrimiento de los recursos de hierro, caliza y carbón en esa zona, y la persistente labor de estudio del ingeniero Olimpo Gallo, quien fue un infatigable promotor del proyecto. Intervino también una decisión política del gobierno central inspirada por el deseo de equilibrar geográficamente mejor el desarrollo de la industria fabril en el país, que hasta entonces se concentraba exclusivamente

en Medellín, Bogotá y Cali. Es indudable también que en esa decisión pesó la influencia de fuerzas políticas partidistas, muy importantes en Boyacá, sobre el gobierno nacional y sobre el parlamento, las cuales lograron inclusive derrotar las enfáticas recomendaciones de la Misión Currie del Banco Mundial que se había opuesto a la obra de Paz del Río por razones económicas y técnicas, y que había recomendado más bien que en su lugar se establecieran nuevas siderúrgicas semi-integradas a partir de la chatarra. El apoyo institucional y financiero que el I.F.I. le dio al proyecto fue sin duda otro de los factores claves para que se ejecutara.

La nueva empresa inauguraba en el país muchos nuevos procesos técnicos que hasta entonces eran desconocidos entre nosotros: la minería pesada de hierro; la preparación de minerales en gran escala; la coquería de hulla en retorta con recuperación de subproductos; el gran alto horno; el convertidor Thomas con soplado de aire para descarburizar el hierro; la molienda de escorias fosfóricas para emplearlas como fertilizantes, etc.

Se cumplían también otros procesos que ya habían sido realizados en Colombia, en menor escala, y en las ferrierías del siglo XIX, y en las dos pequeñas acerías semi-integradas del siglo XX. Tal era el caso de la minería subterránea del carbón, la calcinación de calizas, la colada del hierro fundido, la refundición del hierro crudo gris, el lingoteado de acero en lingoteras de hierro, la laminación de palanquilla de acero, la laminación de productos no planos de acero, el horno eléctrico y otros.

La empresa aparecía con una dotación de equipos cuya magnitud y com-

plejidad técnica eran desconocidas hasta entonces. En efecto, para cumplir sus funciones instaló equipos de minas, molinos de mineral, vehículos pesados, hornos para calizas, un gran alto horno, retortas de coquería, equipo para recuperar subproductos de coque, fundición de lingoteras, convertidores Thomas, horno de recalentamiento para lingotes, tren laminador de palanquilla de acero, trenes laminadores de barras y perfiles, trefilería para acero, planta de vapor, planta eléctrica, además de todas las instalaciones periféricas logísticas y de servicio.

La construcción de esta gran planta requirió un gran número de ingenieros, especialmente civiles. Muchos de ellos fueron franceses y belgas que hicieron los diseños básicos y dirigieron las construcciones más especializadas; otros, en buen número fueron ingenieros civiles colombianos, de los cuales cabe recordar al ingeniero Gabriel Agudelo, quien fue también el primer Director General de la planta cuando ésta comenzó a producir en 1954. El origen de la ingeniería y de la tecnología de esta planta provino de la empresa francesa que la construyó y de sus ingenieros, en aquellos aspectos específicamente siderúrgicos: la minería pesada de hierro, la coquería, el alto horno, los convertidores de acero, la laminación de palanquilla, la laminación de barras y perfiles, el sistema eléctrico, etc. Los ingenieros colombianos aportaron su conocimiento en aquellos frentes en donde ya tenían formación y experiencia como la minería de carbón, las canteras de caliza, la construcción de edificios, la construcción del ferrocarril, el manejo de minerales, el transporte de materiales y la administración técnica de estas operaciones.

En Paz del Río se instaló la mejor tecnología que se conocía en su tiempo

para producir arrabio y acero. El arrabio se obtenía en el alto horno por el procedimiento conocido secularmente y perfeccionado en Inglaterra por William Darby en 1750, utilizando carbón coque como fuente de energía y como reductor químico para el mineral de hierro. En este horno, la escoria reducida era utilizable, además, como fertilizante fosfórico, debido al alto contenido de este elemento en los minerales empleados. En aquel momento se utilizaban en el mundo tres procedimientos pirometalúrgicos para convertir el arrabio en acero: el de Bessemer (inventado en 1856); el de Siemens-Martin (inventado en 1863) y el de Gilchrist-Thomas (inventado en 1879). En Paz del Río se adoptó el convertidor de Gilchrist-Thomas, con soplado al aire, que se adaptaba mejor para el tamaño de la producción de la empresa y para las características químicas del arrabio.

Los conocimientos empíricos y las técnicas de ingeniería que se requirieron (y aún hoy se requieren) para operar la siderúrgica integrada de Paz del Río fueron los siguientes:

- 1) Mecánica de cuerpos rígidos. Momentos lineales. Momentos de inercia. Rotación. Energía cinética. Energía potencial. Rozamiento. Potencia mecánica. Mecanismos. Diseño de máquinas.
- 2) Termotecnia. Termometría. Gradientes térmicos. Pirómetros. Calor específico. Calor de combustión. Cambios de estado: fusión. Calor latente. Conducción de calor. Radiación.
- 3) Mecánica de gases. Caudales de gases. Presión. Conductos. Energía e Impulso. Sopladores y ventiladores. Compresores. Enfriamiento y calen-

tamiento de gases. Intercambiadores de calor. Convección. Tiro térmico diferencial. Chimeneas.

- 4) Físico-química. Propiedades físico-químicas de gases. Combustión y combustibles. Oxidación y oxidantes. Reducción y reductores. Carbo-nización. Pirólisis. Acidez y basicidad. Reglas de fases y diagramas de fases. Oxidos y anhídrido. Corrosión.
- 5) Minerales y minería. Mineralogía de carbón, calizas y ferrominerales. Geología de yacimientos. Técnicas de explotación de minas. Equipos de extracción y transporte.
- 6) Manejo de sólidos. Molienda. Cribado. Granulometría. Motores de potencia. Bandas transportadoras. Cadenas de canchales.
- 7) Metalurgia ferrosa. Hierro, carbono y acero. Fósforo, azufre y silicio en el hierro. Diagramas de fases. Estructuras cristalinas del hierro. Propiedades mecánicas del hierro. Arrabio y hierro gris. Hierro maleable o forjado. Aceros corrientes. Cementación. Laminación. Forjado. Trefilación. Fundición. Escorias del hierro.
- 8) Materiales refractarios. Arcillas y otros refractarios. Aislamientos térmicos. Pirorresistencia. Reacciones cerámicas. Diseño de hornos.
- 9) Construcción. Fundaciones. Mampostería. Estructuras de soporte. Materiales de construcción.
- 10) Hornos. Diseño. Temperatura de operación. Caldeo. Pirometría. Recuperación de calor.

El decenio de los años cincuentas, fue particularmente activo en la apertura de nuevas fábricas metalme-cánicas y en la diversificación de productos de las que ya existían. Entre 1950 y 1957 se abrieron un buen número de fábricas medianas y pequeñas de muebles metálicos, cables de acero (Emcocables), alambres conductores de cobre (Facomec y CEAT), calderas (Distral) tubería galvanizada (Simesa), neveras (Icasa), herramientas agrícolas (Herragro), machetes (Collins en Palmira e Incolma en Manizales), estructuras pesadas de acero (Estructuras H.B.), aparatos pequeños, grandes tanques en lámina (Talleres Centrales), tornillos y tuercas, tubos y válvulas de hierro fundido (Apolo), numerosas fundiciones medianas y pequeñas, etc. Pero entre todas estas iniciativas, la inauguración de la siderúrgica de Paz del Río fue el hecho más importante, y gracias a él, en gran medida se pudo realizar este proceso de avance y diversificación en la producción de artículos siderúrgicos y metal-mecánicos.

Una buena indicación del gran impulso de la siderurgia en aquellos años la dan las cifras sobre producción de acero colombiano en sus distintas formas, que son las siguientes:

Producción de Acero, 1950-1960

1950	9.5 miles Tons.
1952	9.5 miles Tons.
1954	10.5 miles Tons.
1955	77.5 miles Tons.
1956	90.1 miles Tons.
1958	121.0 miles Tons.
1960	144.5 miles Tons.

Fuente: Distintas publicaciones y documentos del autor.

Además, la importación de hierro creció de 39.600 tons. en 1952 a 94.000 tons. en 1956; mientras que el consumo total de acero subió de 108.000 tons. en 1952 a 277.400 tons. en 1956 y a 278.100 tons. en 1960.

Las nuevas empresas y los nuevos productos necesitaron que se introdujera al país y que los ingenieros aprendieran nuevas técnicas de manufacturas como las siguientes:

- a) La trefilación de alambre de cobre para producir conductores eléctricos en Facomec (Cali, 1954).
- b) El entallado de barras y tubos de hierro y de acero con dados, a presión y en frío, para fabricar tornillos y tuercas, en pequeñas fábricas de Bogotá hacia 1956.
- c) La fundición en serie de accesorios para tubería, en hierro maleable, galvanizado, en Simesa (Medellín, 1955).
- d) La fundición de piezas de hierro aleado y de acero, de gran tamaño, para uso en equipos industriales, en Futec (Medellín, 1955).
- e) El uso de prensas mecánicas de fricción, para hacer artículos y objetos embutidos, en varias fábricas y talleres medianos de Bogotá, Medellín y Cali, a mediados de los años cincuenta.
- f) El troquelado y embutido pesado en lámina de acero estirado en frío, en Icasa en 1956, y en otras fábricas de Bogotá y Medellín de aparatos electrodomésticos y de muebles metálicos.
- g) La forja liviana para trabajar el acero en caliente, para hacer herramientas agrícolas, en Herragro (Manizales, 1956). Algunos años después se realizó en Siderúrgica de Medellín para fabricar bolas para molinos de caliza para cemento.
- h) La fundición y construcción de algunas máquinas industriales (especialmente para industria textil), en Furesa (Medellín, 1957).
- i) La trefilación y el retorcido de alambre de acero de bajo carbono y de cables de acero trefilado, en Emcables (Bogotá, 1957).
- j) La laminación en caliente de rieles y perfiles pesados de acero, en Paz del Río, en los últimos años cincuenta.
- k) La laminación de alambres de acero de alta resistencia para trefilar alambres (Paz del Río, 1954); y la trefilación de alambres de acero (Paz del Río, 1954; Trefilco en Bucaramanga, 1961 y otras posteriormente).
- l) La producción de tubos con costura eléctrica continua por alta corriente, en Simesa (Medellín, 1958) y Colmena (Bogotá, 1959).
- m) La laminación en caliente de palanquilla de acero corriente, que comenzó en 1960 en un laminador de la empresa Paz del Río, que compró en Chile, con 30.000 tons. anuales de capacidad.

Esta expansión de la industria metal-mecánica durante los años cincuenta abrió un gran número de puestos de trabajo y de vocaciones de ejercicio profesional de los ingenieros del país de diversas especialidades: civiles, de minas, químicos, mecánicos, electricistas, industriales y metalúrgicos.

Las Primeras Facultades de Ingeniería Metalúrgica

El grande interés nacional que despertó la construcción de Paz del Río, y que se intensificó cuando la empresa comenzó a producir, llevó a algunas universidades vecinas a esa región a establecer los primeros programas para la formación académica de ingenieros metalúrgicos. Así lo hicieron en 1955 la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja, y en 1956 la Universidad Industrial de Santander. Pocos años después se establecieron estas carreras en la Universidad Libre (1960) y en la Universidad de Antioquia (1963).

Desde sus comienzos el contenido de los pñsumes de estas carreras ha sido similar de una universidad a otra y se ha conservado a lo largo de un tiempo sin grandes modificaciones. Dicho contenido parte de las ciencias básicas de la ingeniería (matemáticas, física, química y economía), que esta carrera comparte con las otras ingenierías y prosigue luego con materias profesionales: fisico-química, metalurgia física, metalurgia química, procesos metalúrgicos, diseño de máquinas, construcción de máquinas, etc. Puede decirse que la ingeniería metalúrgica, como enseñanza académica se sitúa en la interfase entre la ingeniería química y la ingeniería mecánica, y que cualesquiera de estos dos tipos de ingeniería puede ser fácilmente especializada y ampliada para ejercer competentemente las funciones profesionales de un ingeniero metalúrgico.

Nuevas Industrias y Nuevos Procesos Metalúrgicos en los Años Sesentas

Al comenzar el nuevo decenio, Colombia contaba ya con una dotación bastante variada de empresas siderúr-

gicas y metalmecánicas que con equipos diversos producían un buen número de productos siderúrgicos usados en distintos procesos metalúrgicos apropiados.

En Paz del Río se producía acero por la vía integrada de alto horno, en forma de barras, rieles, perfiles medianos, perfiles livianos, alambón de acero, alambres galvanizados, etc. En Medellín y Bogotá, sendas acerías semi-integradas producían acero corriente en horno eléctrico a partir de chatarra. En varias ciudades, numerosos talleres de fundición y los grandes talleres de los ferrocarriles fabricaban piezas fundidas de hierro y acero corrientes y aleados. Había varios talleres de carpintería metálica, muebles metálicos, ductos, calderas y otras construcciones. Se producían accesorios para tubería fundidos en hierro maleable y galvanizados. Se fabricaba también puntillas, grapas y tornillería, por los respectivos procesos de corte, estampación, doblado, galvanización y entallado. Se fabricaban recipientes de aluminio por el proceso de repujado. Se trefilaba alambón de cobre y aluminio para hacer conductores eléctricos y telefónicos. Se hacían tubos de acero con costura por corte de lámina en frío y soldadura eléctrica continua. Se trefilaba y se galvanizaba alambre liso y alambre de púas en Paz del Río y otras fábricas menores. Se producían artículos trabajados en forja liviana en caliente. Y en general, se había echado las bases con una buena expansión de la siderurgia y la industria metalmecánica.

Fue por aquella época cuando se creó la Siderúrgica del Valle de Tenza, cerca a Garagoa (Boyacá), con un pequeño alto horno para producir hierro gris y con un cubilote para fundir piezas de este metal. Fue fundada por un anti-

guo oficial naval (formado como ingeniero en la Armada) y un empresario de la región, interesados en el crecimiento de la demanda nacional de hierro fundido que se señaló más arriba. Su capacidad inicial fue de unas 5.000 tons. por año, que han crecido hasta unas 10.000 tons. anuales hoy en día.

Los esfuerzos empeñados desde 1955 por establecer las primeras fábricas de automotores en el país lograron sus primeros resultados en 1961, cuando la empresa Colmotores en Bogotá ensambló los primeros camiones que se construyeran en Colombia. Se iniciaba así la industria automotriz que a lo largo de los años, a pesar de sus muchos y complejos problemas, ha sido un estímulo importante al desarrollo siderúrgico y metalmeccánico en Colombia.

En el mismo año, el Instituto de Fomento Industrial y tres corporaciones financieras privadas promovieron y financiaron la primera planta de forja-estampa pesada que se construyera en el país: Forjas de Colombia, en Bucaramanga. Esta iniciativa se inspiraba en la creencia equivocada de que los aceros de la cercana planta de Paz del Río podrían ser fácilmente forjados para atender una demanda nacional de partes y piezas hechas por este procedimiento. El diseño de la planta y la ingeniería del proceso fue suministrada por la empresa alemana Didier Werke (Krupp). Se trataba de un proceso metalúrgico nuevo, en que no había experiencia en el país, como es el de forja pesada para trabajar en frío y en caliente. Otros procesos que requería la empresa como maquinado, procesos térmicos y galvanización, ya eran familiares a los técnicos en el país. Se esperaba que la forja lograra producir 20.000 tons. anuales en piezas trabajadas, pero a lo largo del tiempo esta capaci-

dad nunca se ha alcanzado del todo. El caso de Forjas de Colombia recuerda al de las ferrerías del siglo pasado en el sentido de que ha padecido una serie de crónicos problemas financieros, económicos y técnicos, pero que a pesar de todo ha existido por largo tiempo, —25 años— y ha tenido el mérito de familiarizar a los técnicos del país con un nuevo proceso siderúrgico de indudable importancia.

Consciente el gobierno del Presidente Lleras Camargo y de su Ministro Agudelo Villa de la importancia y la conveniencia de fomentar ciertas industrias para el país, esa administración propuso al congreso una reforma tributaria que se convirtió en la Ley 81 de 1960, que consagraba importantes estímulos fiscales a varios renglones industriales nuevos. Esa ley estableció exenciones tributarias por 10 años para empresas industriales específicas que de esta manera pudieron surgir o pudieron ampliarse considerablemente en la época de los años sesentas y los primeros setentas. Entre las industrias así beneficiadas estuvieron las industrias siderúrgicas y las "industrias complementarias de Paz del Río", y gracias a ello la producción nacional de acero creció rápidamente en esos años como lo indican las siguientes cifras:

Produccion de Acero, 1960-1970

1960	144.5 miles Tons.
1962	186.9 miles Tons.
1964	247.0 miles Tons.
1965	202.4 miles Tons.
1968	210.6 miles Tons.
1970	264.1 miles Tons.

Fuente: Documentos del autor

La activa proliferación de fábricas siderúrgicas y metalmecánicas que propició la Ley 81/60 trajo consigo lo que quizá ha sido el proceso más activo de innovación tecnológica y de divulgación de tecnologías en este sector industrial, en toda su historia. En efecto, desde el punto de vista de nuevos procesos y nuevos productos el desarrollo de aquellos años puede marcarse por la adopción de muchos nuevos tipos, operaciones, procesos y productos.

Una breve mención de las innovaciones aludidas, incluye las siguientes:

- a) La creación de la Empresa Siderúrgica del Pacífico en Cali, en 1961, siderúrgica semi-integrada por el proceso de horno eléctrico, trabajando con chatarra.
- b) La primera producción de aceros aleados y laminados en caliente (aceros especiales) en la misma siderúrgica mencionada. Años después, en 1975, estos aceros se hicieron también en Simesa.
- c) El comienzo de la construcción de recipientes en lámina de acero y soldados para gases a presión, en la empresa Penagos Hermanos de Bucaramanga, hacia 1962.
- d) La creación de la empresa siderúrgica semi-integrada Metalúrgicas Boyacá, cerca a Paipa, en 1963, que se proponía procesar la chatarra generada en Paz del Río.
- e) El desarrollo autóctono y el dominio de las técnicas para fundir hierro nodular en Apolo (Medellín) y otras fundiciones mayores, en los primeros años sesentas. Este paso se logró gracias a las demandas crecientes por piezas fundidas en hierro nodular, de mayor resistencia, para la industria automotriz y al buen nivel técnico y a la iniciativa innovadora de los ingenieros que lo lograron en las empresas metalúrgicas.
- f) La adopción del horno electromagnético de inducción de alta frecuencia en varias pequeñas y medianas fundiciones a mediados de los años sesentas, lo que permitió obtener fundiciones mejor dosificadas metalúrgicamente.
- g) La generalización del trabajo de la lámina de acero inoxidable para obra de carpintería pesada, que se inició en Bogotá, a mediados de los años sesentas (Johnsson y Distral) y se propagó después a otras empresas y ciudades (por ejemplo, Unial en Barranquilla).
- h) El aprendizaje del diseño y de la construcción de torres pesadas en acero galvanizado para líneas de transmisión eléctrica, en los mismos años (Ceno en Medellín, Estructuras H.B. en Bogotá, etc.).
- i) La instalación en la Siderúrgica de Medellín de un horno eléctrico para cargas de 30 tons., para fabricar acero, de 17.000 K.W. de potencia, el mayor que hasta hoy existe en el país, también a mediados de los años sesentas.
- j) La asimilación de las técnicas de diseño y construcción de taladros y tornos para metales, a mediados y a fines de los años sesentas, en empresas como Funymac en Bucaramanga y Prominsa en Medellín.

Todos estos avances requirieron la incorporación de muchísimos ingenieros a las empresas que lo realizaron.

Ellos eran ingenieros mecánicos, electricistas, industriales y metalúrgicos, casi en su totalidad. Para esa época ya habían egresado de las cuatro facultades de ingeniería metalúrgica las primeras promociones. Algunos de los graduados en el país habían podido hacer estudios de posgrado en el exterior, tales como los que por aquellos años ofrecía en la Argentina la Comisión Nacional de Energía Atómica de ese país para estudios avanzados de metalurgia.

Algunos avances en los Años Setentas

En 1972 comenzó a producir cerca a Cajicá la Empresa Colombiana de Arrabio, Colar, promovida y financiada totalmente por el Instituto de Fomento Industrial. Esta empresa se proponía producir arrabio bien dosificado y destinado a todas las fundiciones ferrosas, que tradicionalmente habían tenido dificultad con las chatarras heterogéneas y contaminadas que se consiguen en el país. Colar instaló un alto horno con capacidad de 30.000 tons. anuales de arrabio, con la tecnología convencional de este proceso. Instaló también equipos para la defosforación del arrabio, y servicios industriales auxiliares bastante completos. Es lamentable que esta empresa solamente hubiera subsistido en producción durante siete años, porque en 1979 hubo de cerrar sus instalaciones ante la imposibilidad de conseguir minerales de hierro adecuados, y ahogada también por los altísimos costos de inversión con que se instaló. En el decenio mencionado pueden señalarse dos innovaciones tecnológicas de importancia que han aumentado considerablemente la capacidad de producción de acero en el país. La primera es la inyección de oxígeno a los convertidores Thomas de Paz del Río y a los hornos eléctricos de las siderúrgi-

cas semi-integradas, hacia 1976, lo cual ha permitido una mayor eficiencia y rapidez en el proceso metalúrgico y una mejor calidad de los productos. La segunda es la adopción del proceso de colada continua en las siderúrgicas semi-integradas, entre 1977 y 1978 el cual ha aumentado también las ratas de producción de estas empresas.

De 1970 a hoy la producción de acero en todas sus formas ha crecido con rapidez, como lo indican las siguientes cifras:

Producción de Acero, 1970-1985	
1970	264.1 miles Tons.
1972	288.1 miles Tons.
1974	264.2 miles Tons.
1976	342.4 miles Tons.
1978	380.0 miles Tons.
1980	420.2 miles Tons.
1982	421.7 miles Tons.
1984	461.2 miles Tons.

Fuente: Varios documentos del autor

Algunos Técnicos e Ingenieros Distinguidos en Siderurgia y Metalurgia

Sería imposible hacer una relación completa de todos los ingenieros y técnicos que han hecho en Colombia las ferrerías, las siderúrgicas y las empresas metalmeccánicas importantes. Entre ellos ha habido extranjeros y colombianos, de distintas especialidades y con muy variadas aptitudes y funciones. Pero no puede terminarse este repaso de la evolución siderúrgica sin recordar el nombre de los que más se han distinguido por su trabajo profesional en este frente.

Esta nómina debe empezar con don Jacobo Wiesner, el creador de la ferre-

ría de Pacho. Debe mencionarse también los nombres de Martín Perry y Santiago Bruce, creadores de la ferrería de Samacá; y de Eugéne Bonnet y Eugéne Lutz, franceses, los primeros ingenieros de la ferrería de Amagá. Junto a ellos hay que citar a John James y Rafael Forest, los creadores y constructores de la ferrería de La Pradera, y a Roberto Bunch quien le dio a la ferrería de Pacho sus mejores años gracias a la idoneidad técnica y administrativa con que la dirigió.

Don Vicente Restrepo, graduado en París en química y metalurgia, asesoró aquellas ferrerías y sobre ellas envió conceptos técnicos al gobierno, tal como lo hizo también don Nepomuceno Rodríguez quien fue un inteligente autodidacta en conocimientos siderúrgicos.

Como creadores de las primeras fundiciones de maquinaria en el siglo pasado, tienen lugar especial el alemán William Wolff en Antioquia y los hermanos españoles Mariano y Eugenio Penagos en Bucaramanga. Es imperativo mencionar en este contexto la valiosísima labor anónima y colectiva de los Padres Salesianos en sus talleres-escuelas, donde prepararon los primeros mecánicos y fundidores formalmente entrenados en el país y que prestaron sus servicios con gran utilidad en las fundiciones antioqueñas, santandereanas y bogotanas y en los talleres de los ferrocarriles.

Ya en pleno siglo XX, el ingeniero Julián Cock fue el creador técnico de la Siderúrgica de Medellín. Años después los ingenieros Olimpo Gallo (como propulsor del proyecto) y Gabriel Agudelo (como primer Director Técnico) tienen el gran mérito de haber puesto en marcha la Siderúrgica de Paz del Río. A su

lado los ingenieros Benjamín Alvarado y Vicente Suárez Hoyos, autores de los estudios geológico-mineros, y los ingenieros Joaquín Prieto Isaza y Jaime Rudas, especialistas en el proceso metalúrgico, merecen mención especial como cerebros técnicos de esa gran empresa siderúrgica. En ella misma debe señalarse el nombre de Francisco Triana, quien por muchos años ha sido su director técnico, así como el de Alvaro Hernán Mejía quien por largo tiempo sirvió a esa empresa.

Como fundadores y directores técnicos de la Siderúrgica de Medellín hay que recordar, en los primeros años a Julio Martín Restrepo y Francisco Eladio Restrepo; y más recientemente al ingeniero austriaco Joseph Vollmost.

También en Antioquia se han destacado por sus estudios siderúrgicos y metalúrgicos y por sus aportes técnicos a la industria, en los últimos 50 años, nombres como Antonio Durán, Hernán Garcés, Raúl Mejía, Antonio Botero y Hugo Ruiz.

Algunos Fundadores de Empresas

Es indispensable también recordar los nombres de personajes que, si bien no han aportado conocimientos técnicos directamente, han puesto su capacidad empresarial (y a veces también su capacidad técnica) al servicio del desarrollo siderúrgico del país, asumiendo los esfuerzos y los riesgos de crear nuevas empresas.

Las ferrerías de Pacho, Samacá y La Pradera fueron fundadas, como ya se dijo, por las personas que aportaron conocimiento técnico inicial para operarlas: los señores Wiesner, Perry, Bruce, James y Forest. En cambio la ferrería de Amagá fue emprendida como obra

industrial por don Pascasio Uribe y don Francisco Antonio Alvarez.

La gran fundición y Taller para construcción de máquinas de la empresa El Zancudo, fue creado hacia 1870 por el ingeniero alemán Reinholdt Paasche. Sus paisanos William Wolff y Agustín Freidel establecieron, hacia fines del siglo, las fundiciones de la Estrella y Caldas cerca a Medellín, y este ejemplo fue seguido por empresarios antioqueños como Antonio Quintana y Luis Villa.

Los nombres de Lorenzo Codazzi, Joaquín D. Barriga y Tomás Agnew están ligados a los esfuerzos de mediados y fines del siglo XIX para mantener en operación la ferrería de La Pradera.

En el siglo XX merece recordarse a don Jesús Mora empresario fundador de la Siderúrgica de Medellín, de Imusa y de la Fundición Landers Mora; así como los hermanos Jaramillo, creadores de Talleres Centrales en Bogotá.

El nombre del ingeniero César García Alvarez está vinculado a la creación de Estructuras H.B., hacia 1950; y el de don José Gómez Pinzón, a la empresa Emcocables, en 1956. En Manizales el empresario Gabriel Arango Restrepo, hacia mediados de los años cincuenta participó en la fundación de fábricas de herramientas agrícolas, machetes, fundiciones y máquinas.

Hacia 1961 la creación de Forjas de Colombia se debió en buena parte al tesón del empresario bumangués Pedro Buitrago. En el mismo año, la creación de la Siderúrgica del Pacífico se debió al empeño del empresario Carlos Calderón.

El Instituto de Fomento Industrial ha sido un activo fundador y creador de

muchas nuevas industrias metalúrgicas y metalmeccánicas en sus 45 años de existencia. En forma total, o asociado a particulares, I.F.I. ha sido fundador de empresas tan importantes como Unial, Paz del Río, Siderúrgica de Medellín, Emcocables, Forjas de Colombia y Colar.

Conocimientos Académicos y Técnicas de Ingeniería en Siderurgia y Metalmeccánica

Desde cuando empezó a existir, en el primer tercio del siglo XIX, la industria siderúrgica ha exigido la aplicación de los mejores conocimientos técnicos disponibles en su tiempo. En aquella época tales conocimientos no se adquirían en nuestro país por no existir centro de formación en estas materias, y era necesario traer operarios y técnicos calificados de Estados Unidos o de Europa en donde generalmente se habían formado en la práctica industrial más que en escuelas académicas. Fueron la Escuela de Artes y Oficios en Antioquia, la Escuela Vocacional en Bogotá y las Escuelas de los Salesianos, las primeras que capacitaron operarios y técnicos medios para las industrias de fundición que surgieron desde el siglo pasado. Posteriormente, la Escuela de Minas en Medellín estableció desde sus comienzos la cátedra de Metalurgia como respuesta a la actividad minera, fundidora y ferroviaria que cobraba auge en ese departamento.

Es así como desde principios del siglo, a las fundiciones de máquinas y a los talleres ferroviarios comenzaron a ingresar los primeros ingenieros académicamente formados como tales y que, a pesar de ser ingenieros civiles suplían su falta de experiencia y profundización

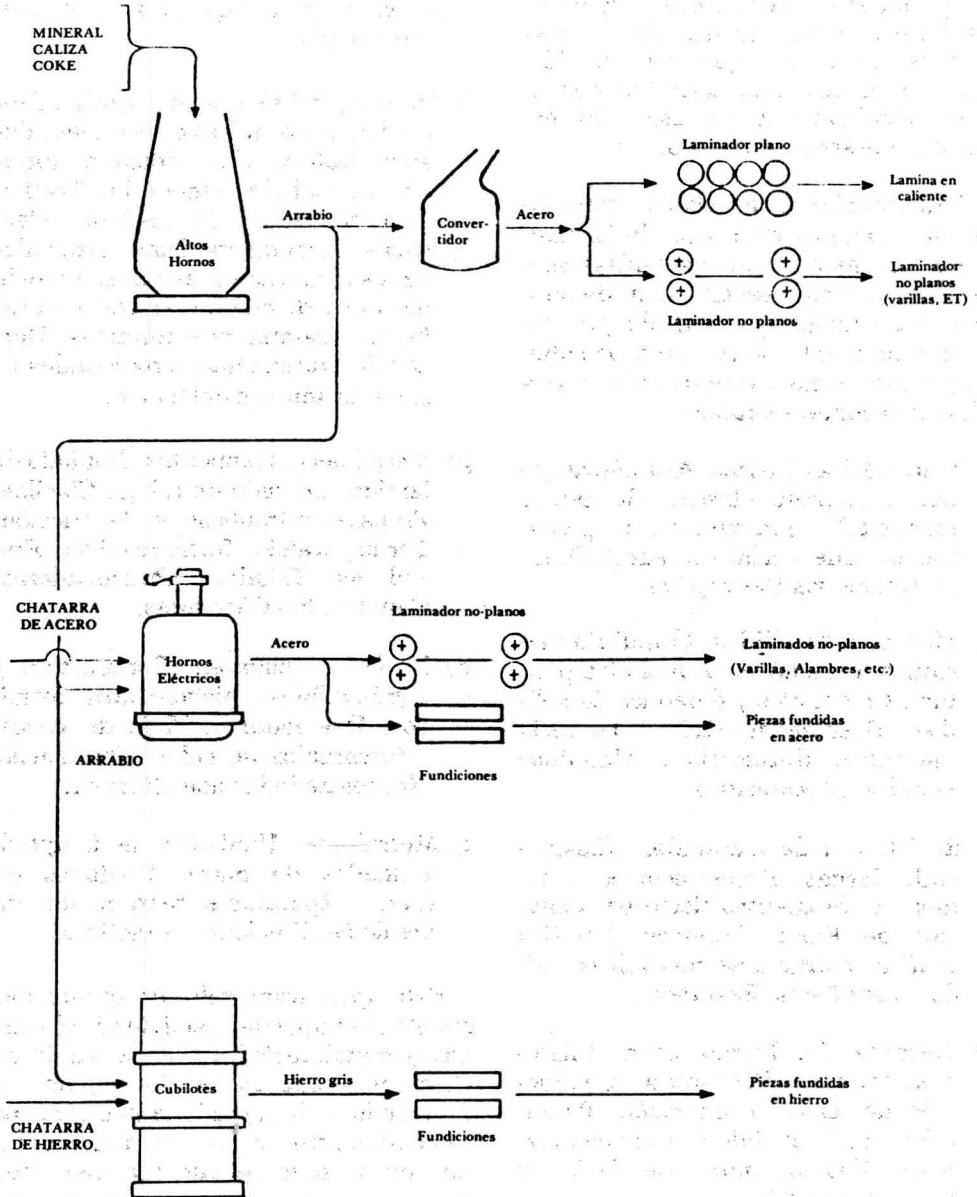
metalúrgica, con una gran capacidad de asimilación y de aplicación de conocimientos empíricos y técnicos en estas materias. Posteriormente, los primeros ingenieros químicos, que egresaron en los años cuarentas, actuaron también con propiedad en empresas y fábricas siderúrgicas y metalmeccánicas. Y más recientemente los ingenieros metalúrgicos graduados como tales han contribuido decididamente al desarrollo técnico de este sector industrial.

Para apreciar la variedad y profundidad de saberes y destrezas de la ingeniería que las industrias siderúrgicas y metalmeccánicas pesadas han demandado tradicionalmente, puede presentarse la siguiente reseña de esos saberes y experiencias, descrita con la terminología contemporánea:

- a) Matemáticas básicas. Aritmética general. Algebra clásica. Geometría elemental. Trigonometría plana. Cálculo diferencial e integral. Dibujo. Geometría Descriptiva.
- b) Mecánica de sólidos. Equilibrio mecánico. Cinemática y dinámica puntual. Cinemática y dinámica de sólidos. Energía mecánica. Potencia mecánica. Rozamiento. Máquinas simples. Mecanismos.
- c) Resistencia de materiales. Elasticidad. Cargas. Deformaciones y esfuerzos. Momentos flectores. Ecuación de Euler. Pandeos. Estática gráfica. Estructuras mecánicas rígidas. Lengüetas. Resortes.
- d) Termotecnia. Termometría. Dilatación térmica. Pirometría. Conducción del calor. Convección. Radiación. Calor sensible y capacidad térmica. Fusión; punto de fusión y calor de fusión.
- e) Metalurgia química, Metales y sus minerales. Oxidación y oxidantes. Reducción y reductores. Soluciones. Corrosión. Aleaciones y sus propiedades. Diagramas de fases de fusión. Metaloides en metales: sus efectos. Electroquímica y electro-metalurgia.
- f) Metalurgia física. Metalografía. Propiedades mecánicas de metales. Fusión. Deformación: doblado, forjado, troquelado, embutido. Trefilación. Soldadura. Propiedades eléctricas. Ferromagnetismo. Propiedades térmicas de metales. Trabajo mecánico de metales en frío y en caliente. Tratamientos térmicos. Hornos de Tratamiento. Propiedades físicas de aditivos del hierro.
- g) Máquinas herramientas. Doblado de lámina. Doblado de tubos. Cizallas. Prensas hidráulicas y de fricción. Torno paralelo. Torno revólver. Frezadoras. Taladros. Punzonadoras. Cepillos. Rectificadoras.
- h) Hornos y hogares. Combustión y combustibles. Aislamientos térmicos. Quemadores. Flujo de gases. Intercambios de calor. Chimeneas. Hornos de inducción eléctrica.
- i) Metrología. Unidades de longitud. Unidades de masa. Unidades de fuerza. Aparatos e instrumentos de medición. Precisión y exactitud.

Esta apresurada relación quiere dar cuenta del papel de la actividad siderúrgica y metalmeccánica que ha tenido en Colombia como factor de impulso al desarrollo de la ingeniería nacional. La relación entre estos dos fenómenos, que en el siglo pasado fue más bien laxa, se ha estrechado fuertemente du-

ACTIVIDADES SIDERURGICAS EN COLOMBIA



rante el siglo XX, especialmente desde la construcción de las primeras acerías (Simesa y Paz del Río). Sin una ingeniería nacional académicamente bien preparada en las especialidades de minas, civil, química, mecánica y metalurgia, no hubiera sido posible llegar, ni siquiera remotamente al grado de desarrollo técnico y económico que hoy tienen

estos renglones industriales en Colombia. Hacia el futuro, es de esperar que el enlace entre estas dos corrientes de progreso (la industria y la ingeniería) se profundice y adopte nuevas formas más avanzadas a medida que el país progresa en la creación de una industria fabricante de maquinaria y de otros bienes de capital.

BIBLIOGRAFIA

- BREW, Robert. **El Desarrollo Económico de Antioquia desde la Independencia hasta 1920**. Bogotá, Ediciones del Banco de la República. 1977. 445 pp.
- COCK, Julián. **Estudio de una Empresa Siderúrgica en Medellín**. Medellín. Tipografía Industrial. 1938. 34 pp. Tesis de grado en la Facultad Nacional de Minas.
- COLCIENCIAS. **La Fundición en Colombia**. Bogotá. Colciencias. 1979. 307 pp.
- DERRY, T.K. y TREVOR I. Williams. **A Short History of Technology**. Londres. Oxford University Press. 1960. 783 pp.
- DURAN, Antonio J. **Ensayes de Minerales de Oro y Plata**. Medellín. Editorial Atlántida. 1936. 103 pp.
- FULTON, Charles Herman. **Principles of Metallurgy. An Introduction to the Metallurgy of the Metals**. New York. Mc. Graw Hill Book Company. 1910. 544 pp.
- GILLE, Bertrand. **Historie de la Metallurgie**. Paris. Presses Universitaires de France. 1966. 124 pp.
- OSPINA VASQUEZ, Luis. **Industria y Protección en Colombia**. Medellín. Fundación Antioqueña para el Estudio de las Ciencias Sociales. FAES. 1979. 576 pp.
- PAVON, Moisés. **Las Ferrerías y el Desarrollo Industrial del País**. 2a. ed. Bogotá. Imprenta El Gráfico. 1923. 125 pp.
- PERCY, J. **Traité Complet de Métallurgie**. 5 volúmenes. Paris. Librairie Polytechnique de Noble et Baudry, Editeurs. 1864.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **Dos siglos de Historia Económica de Antioquia**. Medellín. Biblioteca Proantioquia. Editorial Colina. 1979. 210 pp.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **La Ingeniería en Colombia: Sus ciencias y su Historia**. Medellín. Mecanografiado. 1983.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **Minas y Mineros de Antioquia**. Bogotá. Banco de la República. 1984. 174 pp.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **Políticas Económicas, Desarrollo Industrial y Tecnología en Colombia, 1925-1975**. Bogotá. Colciencias. Editorial Guadalupe, 1976. 163 pp.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **Historia de la Industria Colombiana**. "Revista Trimestral de la ANDI". Octubre 1970. No. 11.
- POVEDA RAMOS, Gabriel. **Políticas Económicas Incidentes en la Industria Local de Bienes de Capital**. "Ciencia, Tecnología y Desarrollo". Bogotá. Volumen 6, Nos. 1 y 2. Enero-junio 1982.
- RODRIGUEZ, Nepomuceno. **Informe Relativo a la Ferrería de Samacá**. Bogotá. Imprenta de Medardo Rivas. 1883. 28 pp.
- ZERDA, Liborio y Vicente Restrepo. **Ultimo Informe Relativo a la Ferrería de Samacá**. Bogotá. Imprenta de Medardo Rivas. 1884. 24 pp.