AÑO XLV. Madrid 13 de Enero de 1898. Número 1.164.

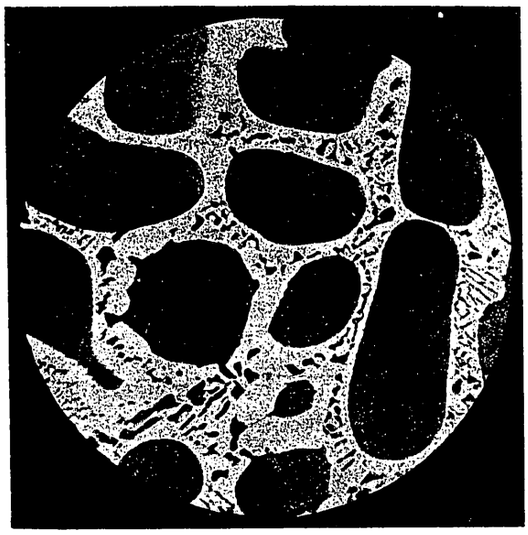
REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

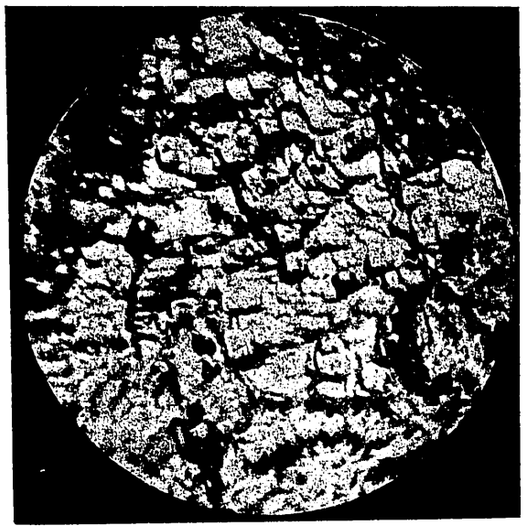
Redactor-Presidente..... Excmo. e Ilmo. Sr. D. Luis Sáinz, Inspector general de primera clase del Cuerpo.
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
D. Luis Gaztelu, Profesor de la Escuela de Caminos.
D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Corresponsal en Londres.. D. Enrique Sanchis, Ingeniero del mismo Cuerpo.

SE PUBLICA LOS JUEVES **Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.**

LA METALOGRAFÍA CONSIDERADA COMO METODO DE ENSAYO

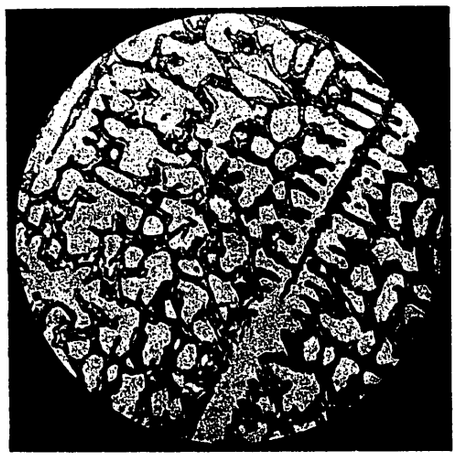


Cu = 65; Ag = 35 (fundido); recocido al púrpura (diám. 600).



Acero forjado (0,125 % de C.) atacado por So^4H^2 diluído (diámetro 600).

Bronce á 19 % de Sn, templado al rojo, sombra en el agua á 50º recocido á los colores de oxidación (diám. 500).



Bronce á 19 % de Sn, fundido en arena, recocido á los colores de oxidación (diám. 100).

LA METALOGRAFÍA CONSIDERADA COMO MÉTODO DE ENSAYO

En el núm. IV del año segundo de la *Revista internacional*, «Los materiales de construcción», se inserta un notable trabajo de Mr. F. Osmond, Ingeniero civil francés que se dedica especialmente al estudio de la estructura de los metales. El informe (1) va acompañado de 40 fotograbados de otras tantas preparaciones microscópicas de diversos metales y aleaciones (2), en las cuales se han empleado aumentos desde 20 hasta 2.000 diámetros, y de varias curvas de fusibilidad que demuestran algunas particularidades interesantes, tanto respecto al enfriamiento y solidificación del hierro y de la plata, como á la conductibilidad y fuerza electromotriz de aleaciones de cobre y zinc. Aun cuando no es posible dar idea completa del interesante trabajo de Mr. Osmond sin tener á la vista los fotograbados de todas las preparaciones microscópicas, procuraremos hacer un extracto que sirva, al menos, para indicar la gran importancia que va adquiriendo el estudio de la estructura de los metales como auxiliar indispensable, para conocer su valor como materiales de construcción.

El microscopio es el que ha permitido en esto, como en historia natural, extender el campo de observación y abrir nuevos horizontes; de aquí que Mr. Osmond empiece su trabajo haciendo un paralelo entre los procedimientos empleados en la metalografía y los seguidos en el estudio de las ciencias naturales. Al efecto, hace notar que en una preparación microscópica de acero de cementación con aumento de 1.200 diámetros, una de las distribuciones posibles del carburo de hierro FE^3C en el acero, tiene una notable semejanza con una colonia de bacillus y micrococus, y aunque la semejanza sólo sea en la forma, no por eso deja de ser notable y tiende á demostrar, unida á otras, que los metales no son cuerpos muertos. Como prueba de esta afirmación, señala el hecho de que el análisis de una aleación no indica cómo los elementos dosificados están asociados entre sí, ni si forman compuestos definidos aislados ó disoluciones, sean ó no homogéneas.

El análisis más detallado no basta para determinar cómo los elementos constitutivos, suponiéndolos separados, están individualmente organizados ó cómo están distribuídos topográficamente unos respecto de otros.

Suponiendo conocida la organización histológica y la distribución anatómica, no sabemos qué modificaciones podrá experimentar la aleación bajo la influencia de ciertos cambios de temperatura y de presión.

Además, aun sabidas las modificaciones normales, éstas podrán sufrir perturbaciones de importancia, por cualquiera impureza, siquiera sea ésta tan pequeña que tal vez pase desapercibida.

Sentados estos principios, establece divisiones en la metalografía, análogas á las de la ciencia médica, siendo las principales la metalografía anátomo-histológica, la biológica y la patológica.

La primera tiene por objeto determinar y definir los diversos elementos de una aleación sirviéndose de sus caracteres ópticos (color, brillo) químicos (resistencia á los reactivos y formación de patinas) mecánicos (resistencia al rozamiento y dureza); describiendo las formas, sean ó no cristalinas, midiendo las dimensiones absolutas ó relativas, examinando los planos de fractura (juntas ó cruceros) que los separan unos de otros ó los entrecortan.

La segunda estudia la composición, forma, dimensiones y relaciones de los diversos elementos que constituyen una aleación, consideradas en su estado estático, y las condiciones que determinan los cambios caloríficos ó de presión que puede experimentar, ya durante su fabricación, ya en su empleo.

La tercera división analiza la influencia de los errores en el tratamiento y de las impurezas. Esto constituirá una diatésis particular y permitirá en muchos casos, relacionando los efectos y las causas, hallar la solución de muchos problemas que se presentan en la práctica.

METALOGRAFÍA ANATÓMICA

Cuerpos químicamente homogéneos. — Consideremos primero un cuerpo simple, la plata fundida. La preparación microscópica hace ver un esqueleto de cubo, formado á su vez de pequeños cubos secundarios, yustapuestos regularmente. Por otra parte, cubos completos de 0,05 milímetros á 2 milímetros de lado, están igualmente agrupados en serie. Se comprende fácilmente que los cruceros de estos cubos sean superficies naturales de fractura.

Examinemos ahora una placa forjada de hierro fundido básico, tal como se deja para detener las operaciones en el horno Martín. La muestra examinada contiene $C = 0{,}125$; $Si = 0{,}03$; $S = 0{,}26$; $P = 0{,}019$; $Mn = 0{,}31$. Es, por lo tanto, casi hierro. Hecha abstracción de algunos filamentos de carburo y pequeños granos de escoria, el pulimento sobre pergamino mojado con una ligera disolución de sulfato de cal en agua, sea atacado después por el ácido nítrico ó la tintura de iodo, divide el metal en polígonos unidos cortados por granos poliédricos. Estos granos no son cristales, puesto que no tienen ni caras planas, ni formas geométricas regulares; no obstante, no son todos idénticos; al pulimentarlos sobre pergamino no se desgastan de un modo uniforme; el ácido nítrico y el iodo tampoco les atacan de igual modo. La causa principal de estas diferencias es la orientación cristalina de la pasta, orientación que varía de un grano á otro y permanece constante en toda la extensión de un sólo grano. Esta circunstancia se pone más de manifiesto atacando la preparación por medio del ácido sulfúrico templado. Los granos cortados paralelamente á dos de sus ejes aparecen como pequeños cubos aglomerados, muy análogos á los de la plata. Si el corte es sólo paralelo á un eje, el grano atacado aparece con textura laminar, y la estructura se hace mucho más confusa cuando el corte no es paralelo á ningún eje. Podemos, pues, determinar una doble red de superficies de menor resistencia, una debida á los cruceros de los granos y la otra debida á la yustaposición de granos de orientación diferente. Estas superficies de menor resistencia son un receptáculo natural para los gases, que pueden desprenderse en el momento de la solidificación ó más tarde; un camino seguro para las grietas que pueden producirse bajo la influencia de esfuerzos mécanicos.

Todos los esfuerzos del fabricante de hierro deben tender, si no á que desaparezcan en absoluto, lo cual es im-

(1) Este informe es, tal vez, el trabajo más notable de cuantos se han presentado en el Congreso celebrado en Stokolmo, en Agosto último, por la Asociación internacional para el ensayo de los materiales de construcción.

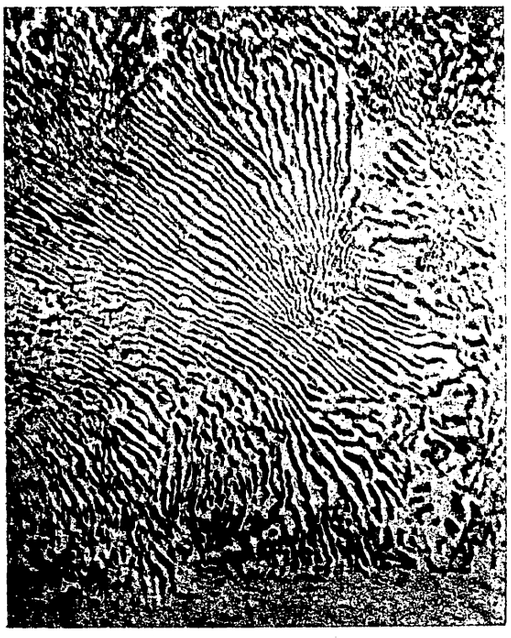
(2) Reproducimos algunas de ellas en el presente artículo.

Acero forjado (0,45 por 100 de C.); calentado y templado á 750° (diámetro 1.000)

posible, al menos á disminuir la proporción de gases, por la aceleración en el enfriamiento y por todos los medios apropiados para hacer más discontinuas las superficies de junta.

Vemos, pues, que un cuerpo químicamente homogéneo puede ser muy complejo bajo el punto de vista de su estructura; pero los cuerpos homogéneos químicamente son una excepción y, en general, hay que considerar constituyentes de diferente composición química.

Cuerpos químicamente hetereogéneos.—El caso más sencillo es aquel en que los constituyentes no tienen el mismo color, lo cual permite reconocerlos á la primera inspección. Consideremos dos aleaciones de oro y aluminio que contengan respectivamente



Acero (1,00 por 100 de C. aproximadamente); forjado y recocido á 800° (diámetro 1.000)

$$A\,u = 85; \quad A\,l = 15.$$
$$A\,u = 54; \quad A\,l = 46.$$

Ambas tienen un constituyente común de hermoso color púrpura, que ha sido descubierto por el profesor Roberts-Austen; es un compuesto definido cuya fórmula es $A\,u\,A\,l^2$, que posee la propiedad, muy rara, de tener un punto de fusión superior al del menos fusible de los dos componentes. Durante la solidificación se aisla en cristalitos, siendo relleno el intervalo por una materia de segunda consolidación, cuyas proporciones y naturaleza varían con la composición de la aleación.

Cuando los constituyentes no tienen colores diversos, como es frecuente, se puede tratar de colorarlos artificialmente.

La tintura de iodo, por ejemplo, permite caracterizar el plomo, en muchas de sus aleaciones, por la formación de su ioduro, que es amarillo. Pero los precipitados que se producen de este modo no se adhieren siempre al metal generador y rara vez resisten el secado de la preparación;

Acero forjado (0,45 por 100 de C.) (diámetro 1.000).

puede, pues, ser conveniente fijarlos por medio de una hoja de gelatina, impregnada del reactivo apropiado y aplicada sobre la superficie que se desea estudiar; se puede también efectuar la reacción teniendo la preparación en el microscopio.

Otro método consiste en formar una platina adherente, muy delgada, que no tenga color propio, pero que dé á los rayos reflejados una coloración variable, según su espesor. Estos son los colores llamados recocidos. No se presentan en los metales inoxidables, y no aparecen simultáneamente en los metales desigualmente oxidables; de modo que este procedimiento es de frecuente aplicación. Por este sistema, el profesor Martens ha obtenido las hermosas preparaciones de Spiegeleisen que ilustran sus trabajos, que á la vez constituyen uno de los primeros éxitos de la naciente ciencia metalográfica. El metal considerado está formado por dos elementos: un carburo definido (F E, M n) C^3 y una solución de carbono (ó de carburo) en el resto de la aleación. El carburo definido es rela-

tivamente poco oxidable y se colora de amarillo, por ejemplo, á cierta temperatura, en tanto que la solución ha tomado ya el tinte azul. Estas coloraciones tienen la gran ventaja de no atenuarse aun observadas con grandes aumentos. Mr. Wedding (1), Mr. Behrens (2), Mr. Guillemin (3), las han empleado mucho; y son, sobre todo, útiles para el estudio de las aleaciones de cobre.

Cuando los elementos constitutivos son demasiado pequeños para determinarlos, aun con el auxilio del microscopio, los desniveles producidos por un ataque desigual descomponen la luz reflejada; á medida que la corrosión es más profunda, se ven aparecer sucesivamente (con la luz normal) las coloraciones amarilla, roja, azul y negra, que no deben confundirse con las precedentes y que no suponen, como ellas, la formación de una platina. De aquí un tercer método que extiende el campo del microscopio, pero que sólo enseña que el elemento considerado no se corroe uniformemente. De este modo puede caracterizarse la *Sorbita* en los aceros sin templar y la *Troostita* en los aceros semi-duros, templados á determinadas temperaturas.

Las coloraciones, propias ó artificiales, no constituyen el sólo recurso de la metalografía anatómica. Se pueden utilizar también las propiedades mecánicas de los cuerpos. Mr. Behrens ha preparado una serie de agujas de dureza regularmente variable, que pasa sobre la superficie pulimentada de una preparación. Una aguja puede rayar un elemento y no otro. En los bronces cuya composición está representada por la fórmula $Cu\,Sn^5$ ó $Cu\,Sn^4$; Mr. Martens ha podido medir, por medio del sclerómetro, la dureza de cada uno de los elementos que los constituyen.

No obstante, la resistencia á ser rayados no depende solamente de la naturaleza del cuerpo, sino también de sus dimensiones absolutas. Una lámina de vidrio finísimo puede, si no rayarse, cortarse con la uña, y el resultado para la observación es idéntico. El metodo, por lo tanto, sólo es aplicable á determinadas estructuras, pero pueden obtenerse datos equivalentes para otras delicadas, por el desgaste sobre una capa blanda con el auxilio de polvo muy fino. Así, por ejemplo, en una barra de acero duro, forjado á la temperatura del rojo sombra, se ha pulimentado una sección transversal, continuando el pulimento sobre pergamino mojado, impregnado de una pequeña cantidad de rojo inglés; el hierro se ha quebrado y puesto de relieve el carburo de hierro Fe^3C, que está dividido en una multitud de granitos redondeados, que parecen oscuros sobre fondo claro ó claros sobre fondo oscuro, según se coloca el objetivo, un poco más alto ó más bajo.

Se llegaría al mismo resultado atacando el hierro por medio de un ácido que no disuelva mucho el carburo; pero como el hierro al ser atacado pierde el pulimento de un modo muy irregular, las preparaciones no suelen resultar limpias. Se pueden combinar ambos métodos reemplazando el agua en el pulimento sobre pergamino por un extracto de raiz de regaliz que, merced á un frotamiento continuado, disuelve ligeramente el hierro sin que pierda el pulimento.

Este procedimiento es el mejor para observar este curioso elemento constituyente de los aceros enfriados con lentitud, cuyo descubrimiento se debe al Dr. Sorby, creador de la metalografía microscópica. Es una mezcla de hierro y de carburo de hierro Fe^3C en laminillas alternantes, generalmente cúrvas. El grueso de un par de laminillas probablemente no excede de 1 por 1.000 milímetros; puede ser mucho menor, y el desigual relieve de ambos componentes da lugar, por efecto de la descomposición de la luz, á reflejos irisados parecidos á los del nácar; de aquí el nombre de perlita que le dió Mr. Howe (con anuencia del Dr. Sorby), hoy día adoptado por muchos publicistas.

Causas de error.—Los diferentes métodos enumerados para distinguir dos elementos constituyentes de una aleación, no dan siempre indicaciones precisas y concluyentes. Un cuerpo químicamente homogéneo puede ofrecer una resistencia variable á las acciones químicas ó mecánicas, según su orientación cristalina y según su mayor ó menor compacidad. Es, por lo tanto, fácil tomar como dos elementos distintos, dos aspectos diferentes de uno sólo y, á no dudarlo, equivocaciones de esta clase se han cometido más de una vez. El escepticismo de algunos respecto de las afirmaciones de los metalógrafos tiene, por lo tanto, cierto fundamento; los investigadores deben repetir los experimentos y no dar como definitivos más que los resultados concordantes, después de haber empleado métodos diversos. Esta precaución no se ha tenido muchas veces y así ha resultado, por ejemplo, que la perlita, por su aspecto en el microscopio, parecía que correspondía á dos cuerpos diferentes, cuando en realidad era uno solo, cuya estructura laminar había sido atacada más profundamente en la dirección de los cruceros.

METALOGRAFÍA BIOLÓGICA

En lo que antecede se han indicado los métodos que permiten determinar las diversas estructuras de un cuerpo químicamente homogéneo y los diferentes constituyentes de una aleación químicamente heterogénea. Conseguido esto, la determinación de la forma y dimensiones no ofrece dificultad y se está en camino de abordar los problemas biológicos, es decir, fijar las leyes que rigen los cambios de estructura.

Las transformaciones, reversibles ó no reversibles, que un metal ó una aleación pueden sufrir, en condiciones normales ó experimentales, de su fabricación ó empleo, constituyen su vida. Los factores de estas transformaciones son, como para los seres animados, la temperatura y la presión, y como su velocidad es por lo general finita, debe también considerarse el tiempo. En primer lugar, supondremos que la presión es igual á la atmosférica.

Los cambios que pueden ocurrir en la estructura y en general en las demás propiedades de un metal cuando la temperatura varía, son de dos clases. Los cambios continuos y los críticos.

Los cambios críticos son los que corresponden á una variación brusca en la relación entre una determinada propiedad y la temperatura. Estos cambios son generalmente los que más interesa estudiar, puesto que dividen la escala total de las temperaturas en otros tantos intervalos, en los cuales el cuerpo considerado no experimenta más que modificaciones lentas y progresivas. Se sabe, además, que suponen un cambio brusco de energía molecular. El estudio de estos cambios bruscos es de una importancia capi-

(1) Journ-ofthe Iron and Steel Inst., 1885, pág. 187.
(2) Mikroskop. Gefüge der Metalle und Legierungen, pág. 40.
(3) Commission des méthodes déssai des materiaux de construction. Tomo II, pág. 19.

tal para el conocimiento de las propiedades de un metal. Todos tienen, por lo menos, dos: la fusión y la volatilización, que corresponden á dos cambios de estado.

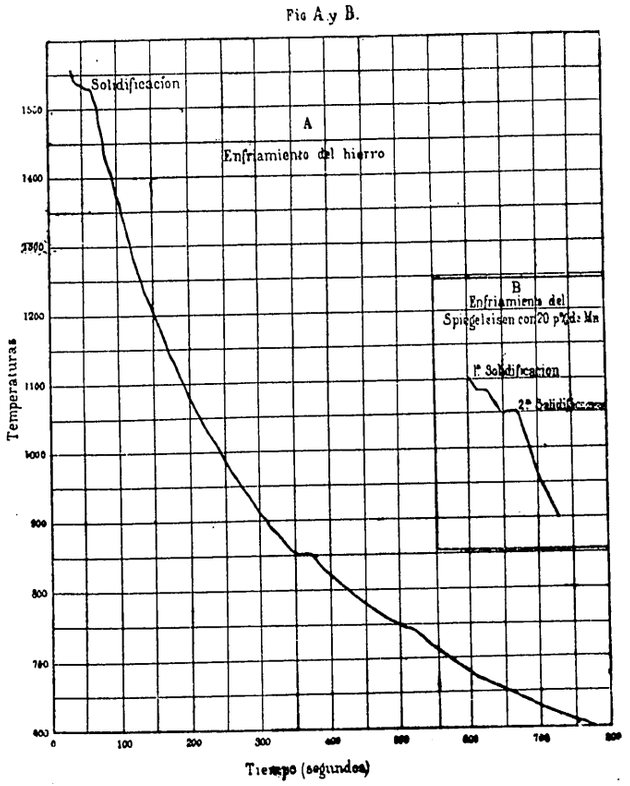
Otros cuerpos, mucho más numerosos de lo que generalmente se cree, poseen otros puntos de transformación, que se llaman cambios alotrópicos ó isoméricos; según se trate de cuerpos simples (hierro, nikel, cobalto, azufre) ó de cuerpos compuestos (ioduro de plata, nitrato de potasa, etc.)

Hierro.—Si, por ejemplo, se deja enfriar hierro puro á partir del estado de fusión y se traza la curva de temperaturas en función del tiempo, se notan tres puntos en que disminuye la velocidad del enfriamiento. El primero, hacia 1.530°, corresponde á la solidificación; el segundo, hacia 860°, y el tercero, entre 750° y 700°, corresponden á dos transformaciones alotrópicas.

Si en vez de cuerpos simples ó compuestos, pero homogéneos, se estudian otros complejos, formados por varios, estas mezclas ó aleaciones tendrán, en general, tantos puntos de solidificación como elementos constituyentes, sin hacer mención de las transformaciones alotrópicas ó isoméricas posibles en cada elemento.

Así, por ejemplo, un Spiegeleisen con 20 por 100 de manganeso tiene dos puntos de solidificación, uno hacia 1.085° y otro hacia 1.050, los cuales corresponden, según lo ha demostrado el profesor Martens en un metal de la misma familia, á dos constituyentes diversos, un carburo definido y una solución sólida del mismo carburo, más ó menos disociado, en una mezcla isomorfa de los metales aleados.

Fig A y B.



Este ejemplo indica cómo la micrografía, auxiliada por la química, sirve para interpretar las curvas de enfriamiento y dar significación precisa á estos puntos singulares, siempre tan importantes.

(*Se continuará.*)

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

LAS LOCOMOTORAS ELÉCTRICAS [1]

SISTEMA J. HEILMANN.

II

En vista de los ensayos realizados con la locomotora eléctrica, descrita en el número anterior, de los que hablaremos en otra ocasión, convenía hacer una aplicación más extensa del sistema. Las experiencias llevadas á cabo en un recorrido de 2.000 kilómetros, descubrieron algunas imperfecciones de detalle y mostraron un cierto número de mejoras posibles.

Se decidió, por tanto, la construcción de dos nuevas locomotoras, sujetas á un pliego de condiciones redactado por la Compañía del Oeste (Francia).

Estas nuevas locomotoras (2) presentan la misma disposición general, adoptada en la primera, pero sus diversos elementos son enteramente diferentes. Las nuevas locomotoras tienen un aspecto de ligereza, de que carece la antigua.

Las modificaciones que se han hecho tienen por objeto:

1.° Aumentar la potencia total de la locomotora, y por consiguiente, su potencia específica, quedando la carga por eje limitada á 15 toneladas, siendo el peso total de 120 toneladas.

2.° Mejorar la suspensión de los motores.

3.° Reemplazar la máquina de vapor horizontal por otra que funcionase sin vigilancia, dejando libre la circulación en toda la longitud de la sala de máquinas.

4.° Llevar á los aparatos de maniobra algunos perfeccionamientos que la experiencia había mostrado eran convenientes.

El aumento de la potencia específica resulta:

a) De la sustitución de la caldera Lentz, por una caldera ordinaria de locomotora.

b) Del empleo de material eléctrico más compacto y de generatrices con inducido dentado.

c) De un estudio general más preciso referente á la cuestión de los pesos.

La máquina de doble efecto se sustituyó por una de simple efecto, sin disminuir la potencia específica; pues se aumentó en $^1/_6$ la presión inicial y en $^1/_5$ próximamente la velocidad.

Examinemos uno por uno sus elementos.

Caldera.—La caldera del tipo de Lentz, empleada en la primera locomotora, aunque funcionaba bien, daba una débil producción de vapor con relación á su peso. En la nueva se adoptó el tipo ordinario de calderas de locomotoras (fig. 14), con hogar Belpaire, y una vaporización de 13.000 litros de agua por hora, en vez de los 9.000 á 10.000 de la primera, teniendo un peso específico menor.

Las dimensiones principales son:

Superficie de caldeo, hogar.	16,47	m.²
— de los tubos.	169,00	»
Superficie interior total. . .	185,47	»
Superficie de parrilla.	3,34	»
Número de tubos.	351	
Diámetro interior de los tubos. . . .	45	m/m
Longitud de los tubos entre placas. . .	3.800	»
Timbre.	14	kilogs.

(1) Véase el número anterior.
(2) Se publicará la vista general de la locomotora en el número próximo.