

EL
VAPOR





Donacion a la Escuela
Superior del Trabajo de Cordoba

Marzo 1938
II Año Triunfal

Rafael Diaz

C^{IA} BABCOCK & WILCOX,

29 CORTLANDT STR., NUEVA YORK, ESTADOS UNIDOS.

ADMINISTRADORES.

NAT. W. PRATT, *Presidente*.
E. H. BENNETT, *Vice-Presidente*.
F. G. BOURNE.

J. G. WARD, *Tesorero*.
CHARLES A. MILLER, *Secretario*.
CHARLES A. KNIGHT.

OFICINAS.

BOSTON, Mass., E. U. A.
8 OLIVER STREET.
FILADELFA, Pens., E. U. A.
32 N. FIFTH STREET.
PITTSBURGH, Pens., E. U. A.
405 LEWIS BLOCK.
CINCINNATI, Ohio, E. U. A.
906 NEAVE BUILDING.
ST. LOUIS, Miss., E. U. A.
608 SECURITY BUILDING.

CHICAGO, Ill., E. U. A.
910 MASONIC TEMPLE.
MINNEAPOLIS, Minn., E. U. A.
604 CORN EXCHANGE.
CLEVELAND, Ohio, E. U. A.
412 PERRY PAYNE BUILDING.
NUEVA ORLEANS, La., E. U. A.
339 CARONDELET STREET.
HAVANA, Cuba
116½ CALLE DE LA HABANA.
TRADE BUILDING.

MONTREAL, Canada: 475 BOARD OF

REPRESENTANTES.

SAN FRANCISCO, Cal., E. U. A.
SAN FRANCISCO TOOL CO.

BUFFALO, N. Y., E. U. A.
C. M. MORSE.

DIRECCIÓN TELEGRÁFICA: para Nueva York—"GLOVEBOXES"; para Havana—"BABCOCK."

C^{IA} BABCOCK & WILCOX,

147 QUEEN VICTORIA STREET, LONDRES, E.C.

ADMINISTRADORES.

ANDREW STEWART, *Presidente*.

SIR WILLIAM ARROL.
ARTHUR T. SIMPSON, M.I.C.E., M.I.M.E.
J. G. MAIR-RUMLEY, M.I.C.E., Memb. Council I.M.E.

CHARLES A. KNIGHT, *Director-General*.
JAMES H. ROSENTHAL, *Director, Londres*.
WALTER SHAW, *Secretario*.

OFICINAS.

LONDRES, Inglaterra:
147 QUEEN VICTORIA STREET.
GLASGOW, Escocia:
21 BOTHWELL STREET.
MILAN, Italia:
7 VIA DANTE.
BERLIN, Alemania:
1 KAISER WILHELMSTRASSE.

PARIS, Francia:
15 RUE DE LA CHAUSÉE D'ANTIN.
BRUSELAS, Belgica:
68 BOULEVARD DU NORD.
MANCHESTER, Inglaterra:
28 DEANS GATE.
SYDNEY, N. S. W., Australia:
83 PITT STREET.

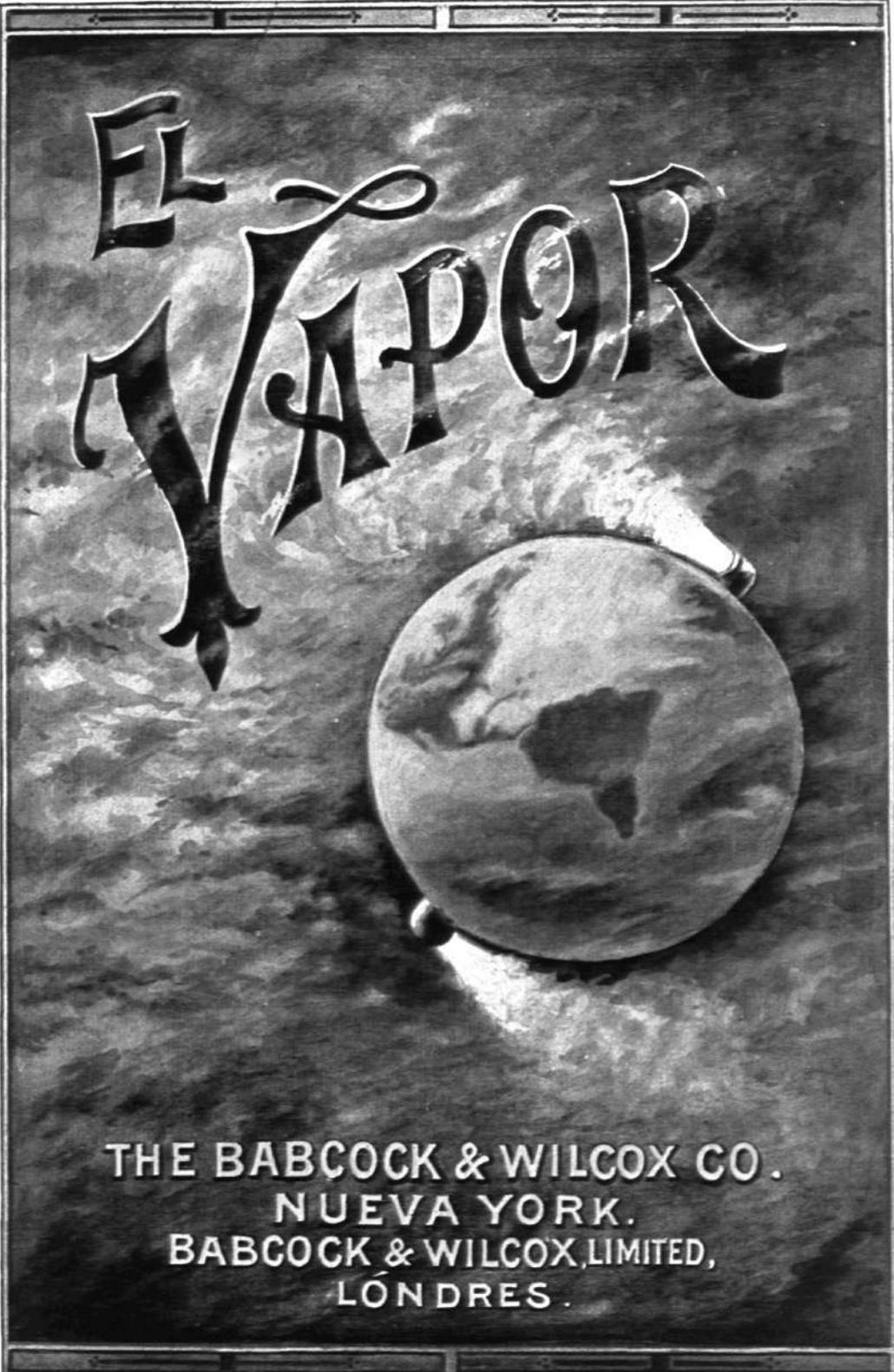
REPRESENTANTES.

VIENA, Austria:
ERSTE BRÜNNER MASCHINEN FABRIKS-
GESELLSCHAFT.
EL HAYA, Holanda:
W. SCHLUSEN.
COPENHAGUE, Dinamarca:
C. H. D. ZAHRTMANN.
Idem. AKTIESELSKABET BURMEISTER & WAIN'S
MASKIN-OG-SKYRBYGGERI.
CHRISTIANIA, Noruega:
A. L. THUNE, Mechanisk Vaerksted.
ESKILSTUNA, Suecia:
MUNKTELLS MEK VERKST AKTIEBOL.
NORRKÖPING, Suecia:
AKTIEBOLAGET MEK WERSTADEN VULCAN.
BUDAPEST, Hungría:
"DANUBIUS" UNGARISCHE SCHIFFBAU &
MASCHINEN FABRIKS ACTIEN GESELLSCHAFT.
BARCELONA, España:
ALFONSO FLAQUER.
ZURICH, Suiza:
BORMANN & CIA
BURDEOS, Francia:
C. BEZANÇON.
MARSELLA, Francia:
P. MIGNON.

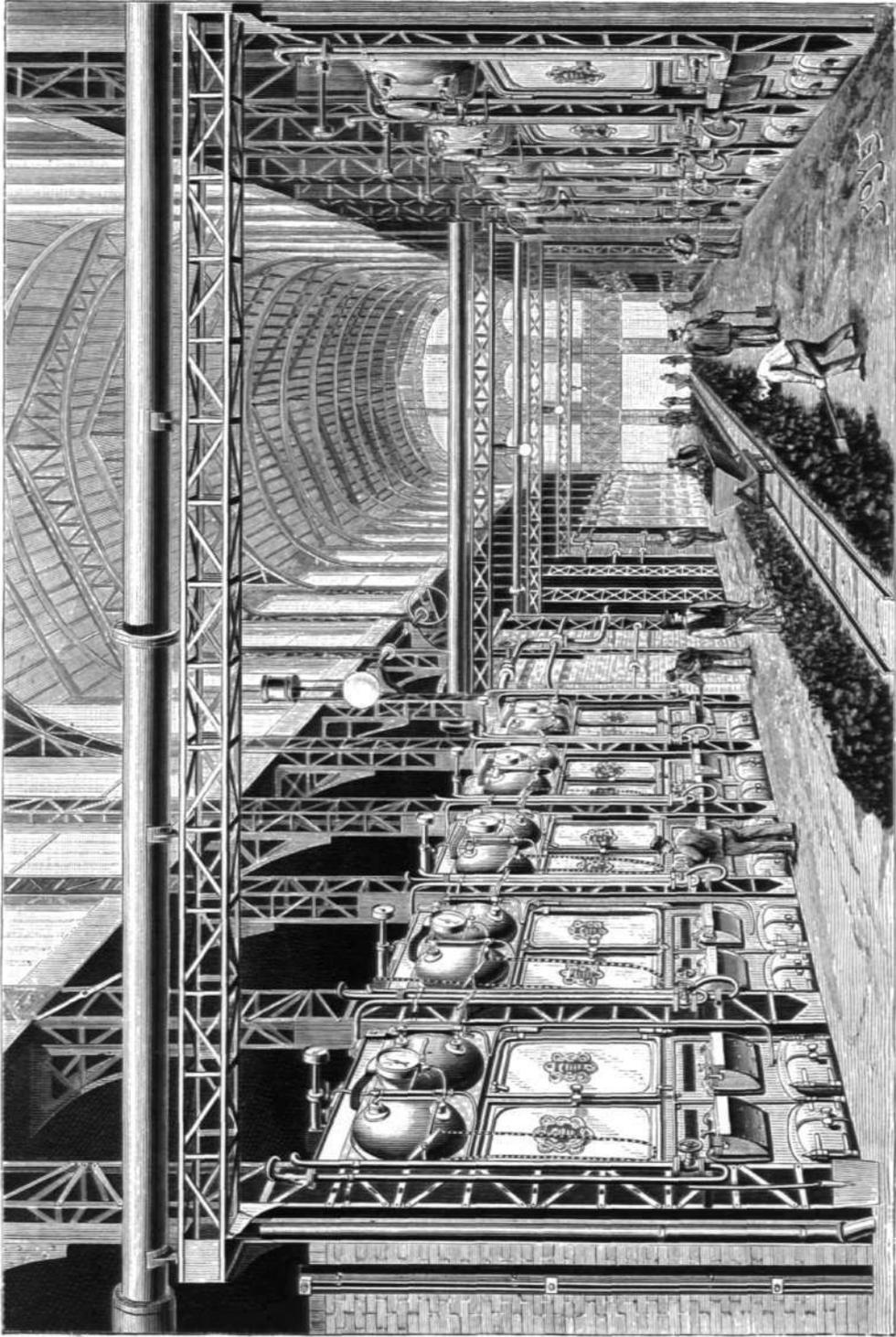
LYON, Francia:
C. DE MARCILLY.
SANTANDER, España:
SHELDON & GERDTZEN.
MOSCOU, Rusia }
ST. PETERSBURGO, " } J. M. SUMNER & CIA
HELSINGFORS, " }
LODZ, " }
SAN JOSÉ, Costa Rica:
E. G. CHAMBERLAIN.
BUENOS AYRES, República Argentina:
AGAR, CROSS & CIA
COLOMBO (Ceylan):
WALKER SONS & CO., LTD.
MOZUFFERPUR, Tirhoot, Indias Orientales:
ARTHUR BUTLER & Co.
SOERABAYA, Java:
J. GRUNDEL & HELLENDORN.
JOHANNESBURG, Transvaal, Africa del Sur.
KIMBERLEY, Griqua Land.
REUNERT & LENZ.
YOKOHAMA, Japon:
B. A. MUNSTER.
SINGAPOR, India:
GUTHRIE & CIA

DIRECCIÓN TELEGRÁFICA: para Londres, Glasgow, Manchester, Sydney, Paris, Bruselas y
Milan—"BABCOCK."

EL VAPOR



THE BABCOCK & WILCOX CO.
NUEVA YORK.
BABCOCK & WILCOX, LIMITED,
LONDRES.



*Calderas Babcock & Wilcox en la Fábrica de la Compañía Parisiense del aire comprimido (procedimiento de Victor Popp) París.
24 calderas, cada una de 225 metros cuadrados de superficie instaladas en 1891-92.*



LAS CALDERAS

BABCOCK & WILCOX

HAN OBTENIDO

EL PRIMER PREMIO

(LA MAYOR RECOMPENSA)

EN

LA EXPOSICION UNIVERSAL

DE

PARIS

1889

621
0 AP / 400

EL VAPOR

SU PRODUCCIÓN Y SU EMPLEO

CON UN CATÁLOGO QUE CONTIENE

la Historia, Descripción, y Aplicaciones

DE LAS CALDERAS CONSTRUIDAS

POR LA

C^{IA} BABCOCK & WILCOX

NUEVA YORK

29 CORTLANDT STREET

PARIS

15. rue de la Chaussée d'Antin.



LÓNDRES

147 QUEEN VICTORIA ST

BRUSELAS

68, Boulevard du Nord.

PRIMERA EDICIÓN CASTELLANA

TRADUCIDA DE LA

TRADUCCIÓN FRANCESA DE LA VIGÉSIMA SEXTA EDICIÓN

NUEVA YORK Y LÓNDRES

ENERO DE 1896



UNIVERSIDAD DE CORDOBA
CAMPUS RABANALES-BIBLIOTECA

R 171
K 257267
D 257262

EL VAPOR

SU PRODUCCIÓN Y EMPLEO

Traducción hecha al Frances de la Vigésima sexta edición

POR

V. DWELSHAUVERS-DERY

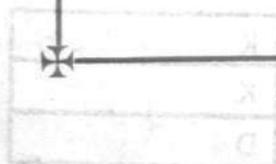
Profesor de la Universidad de Lieja, y de ésta al Castellano

POR

J. CERVANTES, INGENIERO



UNIVERSIDAD DE CASTELLÓN
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



PRÓLOGO DEL TRADUCTOR DE LA EDICIÓN FRANCESA.

EL libro del Señor Jorge H. Babcock, titulado "Steam," (vapor de agua) constituye un verdadero modelo tipográfico, y aunque hecho especialmente para dar á conocer la caldera y casa Babcock & Wilcox, así como su numerosa clientela y grandes éxitos, es cosa muy distinta de un simple reclamo comercial. Es un tratado científico, escrito por hombre de gran experiencia, acerca de las condiciones industriales de la producción y empleo del vapor. Publicadas ya veinte y seis de sus lujosas ediciones, de las cuales la última tenia importantes adiciones acerca de la circulación del agua, sus condiciones y ventajas, movimiento del vapor en los tubos, propiedades del vapor con arreglo á las tablas más perfectas, las del Profesor Peabody, de Boston; expresé al Señor Babcock el deseo de ver de su libro una traducción francesa. Al propio tiempo el Señor Babcock me proponia que tomare una parte activa en éste trabajo, y acepté muy gustoso. A ésta coincidencia se debe la presente publicacion.

La caldera Babcock y Wilcox ha sido sabiamente compuesta, creada y perfeccionada poco á poco, no solo con el objeto equitativo de remunerar al Inventor por su trabajo, sino tambien con el más noble de contribuir al progreso, dándo á la industria un generador de vapor que tuviera mayor número de buenas cualidades que los demás aparatos del mismo género. La reseña de sus transformaciones sucesivas, inserta en ésta obra, muestra que solamente por etapas se ha llegado al estado de perfección práctica en que hoy se encuentra. El Señor Wilcox comenzó en 1856, por una caldera de tubos inclinados en el hogar, primera de éste género. En 1867 combina con el Señor Babcock, un tipo en el que si bien todo se sacrificaba á la seguridad, ya la circulación continúa quedaba unida á la forma seccional. Con todo la obra no tenia cualidades que eran muy esenciales, lo que constituía un verdadero defecto, y preciso era hacerlo desaparecer. Los Señores Babcock y Wilcox, convencidos de que es mucho más provechoso el averiguar las causas de los fracasos, que complacerse en patentisar los resultados favorables, se dedicaron á estudiar los defectos de su caldera; los estudiaron tanto como físicos que como ingenieros, los fueron eliminando sucesivamente, y consiguieron prácticamente la vaporizacion racional; y aunando las exigencias industriales y las condiciones científicas, han llegado á la forma que actualmente tiene la caldera Babcock y Wilcox, y que es el tipo número veinte y dos de los que bajo éste nombre han obtenido patente de invención. La historia de éste notable útil industrial es muy instructiva, bien de lamentar es que no tengamos historias semejantes de otros inventos.

Las condiciones que los constructores procuran dar á sus calderas son *funcionamiento económico, seguridad, y fácil y cómoda conservación*, ya se les destine á ser empleadas, como fijas, locomóviles, para la marina, fluviales ó para otros usos. Las experiencias han demostrado completamente que el funcionamiento económico depende poco del sistema, y al mismo tiempo han evidenciado que tienen en él gran influencia las buenas proporciones, el estado de conservación, y la habilidad del fogonero. El Ingeniero que hace el proyecto de una caldera debe darle proporciones racionales, y medios de conservarla fácilmente en buen estado. La cantidad de calor transmitida por hora á través de un metro cuadrado de superficie de calefacción, depende en parte de su posición geométrica con relación á la

corriente de los gases calientes, y de las facilidades que se ofrecen al desprendimiento de las burbujas del vapor, pero sobre todo del estado de limpieza de las dos caras interior y exterior del palastro de la superficie de calefacción. La resistencia de la cara exterior á transmitir el calor de los gases al metal es grande, comparada con la de la cara interior por la cual se opera la transmisión del metal al agua saturada, á condición de que ésta última sea perfectamente limpia es decir que no haya capa ninguna interpuesta de sustancia extraña. Una capa de incrustación puede hacer á la última no solamente comparable, sino superior á la primera. Tres milímetros de hollín bastan para impedir la transmisión del calor de los gases al metal, y dos milímetros de incrustación disminuyen el rendimiento en un 13 por 100. Por lo cual es importantísimo no descuidar ningún medio para conseguir que las superficies tanto interiores como exteriores estén limpias. La limpieza exterior se hace cómodamente inyectando vapor, pero la interior lleva consigo una suspensión de trabajo, y esto en toda caldera debe evitarse sean largos y frecuentes. Los tubos de agua tienen la ventaja gracias á las aberturas de que van provistos en sus extremos, de que fácilmente puede verse su estado de limpieza, y obtener ésta por medio de rasquetas ó cepillos metálicos; ayudándose de una corriente de agua que se hace atravesar el tubo, y que facilita mucho la operación.

Al mismo tiempo todo medio que impida á las materias incrustantes depositarse sobre la superficie de calefacción, contribuye á alcanzar economía y seguridad. El más eficaz es sin duda, quitar de antemano á las aguas su impureza, pero existe otro no menos deseable porque se emplea en el mismo interior de la caldera, y consiste en impedir á las aguas el que se estanquen en algún punto de la superficie de calefacción, forzándolas á circular llevándose las impurezas, con lo cual se activa la producción del vapor. Conjuntamente, se deben disponer en la parte inferior de los depósitos de agua, como bolsas que esten fuera de la circulación y al abrigo de los gases calientes en los cuales se depositen las materias solidas que existan en suspensión, á lo que se les obliga por medio de la curvatura forzada de la corriente. Asegurar la circulación continua del agua que se ha de evaporizar es condición que los Señores Babcock y Wilcox consideran con razon, como esencial y capital, y que han querido realizar en su caldera. Hay pues que evitar toda traba á la circulación. Este es el escollo en que han chocado gran número de calderas de tubos de agua. La circulación continua producida por el calor, exige una columna de agua descendente, y una columna ascendente de una mezcla de agua y vapor más ligera que el agua; comunicándose ambas por arriba de un modo simple, y haciéndolo por abajo con una superficie expuesta al calor del hogar. La dirección de la corriente líquida tiene por círculo cuatro cambios de dirección de 90°, lo que produce inevitablemente pérdidas de fuerza motriz que deben reducirse en todo lo posible. Los codos deben tener forma que evite la producción de estancamiento en los que el líquido esté expuesto á remolinos y en los cuales las materias en suspensión se reúnan. Estos defectos si por completo no pueden evitarse, deben aminorarse: separando de tales sitios los palastros expuestos á la acción del fuego. Punto éste que ha sido particularmente estudiado por los Señores Babcock y Wilcox.

El profesor R. H. Thurston ha dicho cuanto cabia que se dijera en lo relativo á seguridad de las calderas; demostrando la superioridad de las de tubos de agua, *seccionales*. El agua saturada que hay en una caldera constituye su materia explosiva, y la energía con que la explosión se produce es proporcional al peso de la materia explosiva que existe. Entre los efectos de destrucción que producen la explosión de una caldera provista de un gran depósito de agua, y la *de una sección* de una caldera de tubos de agua, hay la misma diferencia que entre el efecto de un cañonazo, y el de un tiro de pistola. Al mismo tiempo, con el empleo de una cámara de agua pequeña, la caldera se pone en

presion más rápidamente, si bien es verdad que hay que tener con ellas más cuidado y habilidad. Puesto que el agua saturada que hay en reserva en una caldera, hace entre el hogar y el cilindro el papel de regulador de modo semejante á como lo verifica el volante entre el piston y el arbol de una máquina. Las ventajas é inconvenientes de las cámaras de agua pequeñas, deben contrabalancearse y sobre todo estimarse experimentalmente. De éste modo, poco á poco, siguiéndo las indicaciones de la experiencia, han llegado los Señores Babcock y Wilcox á aumentar la cámara de agua poniéndole un depósito superior, que sirve para unir las columnas ascendentes y descendentes de los círcuitos, y con una capacidad suficiente para asegurar la regularidad sin comprometer la seguridad, y al propio tiempo ofreciendo una cámara de vapor de las condiciones que se deseen. La cámara del vapor debe tener la altura bastante para que se puedan hacer las tomas del mismo á distancia del nivel del agua que es donde se forman las burbujas, atenuándose de ésta manera, ó suprimiéndose las proyecciones y el arrastre de vesículas. Siendo al efecto recomendable el que se ponga una placa de precaucion.

La caldera Babcock y Wilcox es del tipo de las calderas *de tubos de agua, seccionales, con circulación*. Estas calderas de tubos de agua no tienen nada de nuevas; tampoco las seccionales, es decir compuestas de elementos múltiples dispuestos así para fraccionar la energia que produjere una explosión, son cosa reciente; la circulación se hizo de moda hace mucho tiempo, con los tubos Field, mas con todo no se logró un éxito ni se realizaron sus ventajas. No hay pues ningún principio nuevo, original en la Caldera Babcock y Wilcox, pero sí constituye una excelente aplicación de principios conocidos, una cuidadosa elección de materiales, hábilmente trabajados, y una serie de perfeccionamientos en los detalles formando en conjunto por su gran mejora, sobre lo existente un aparato que consideramos como elemento importante de economia y seguridad para la industria; lo cual á nuestros ojos es con mucho preferible.

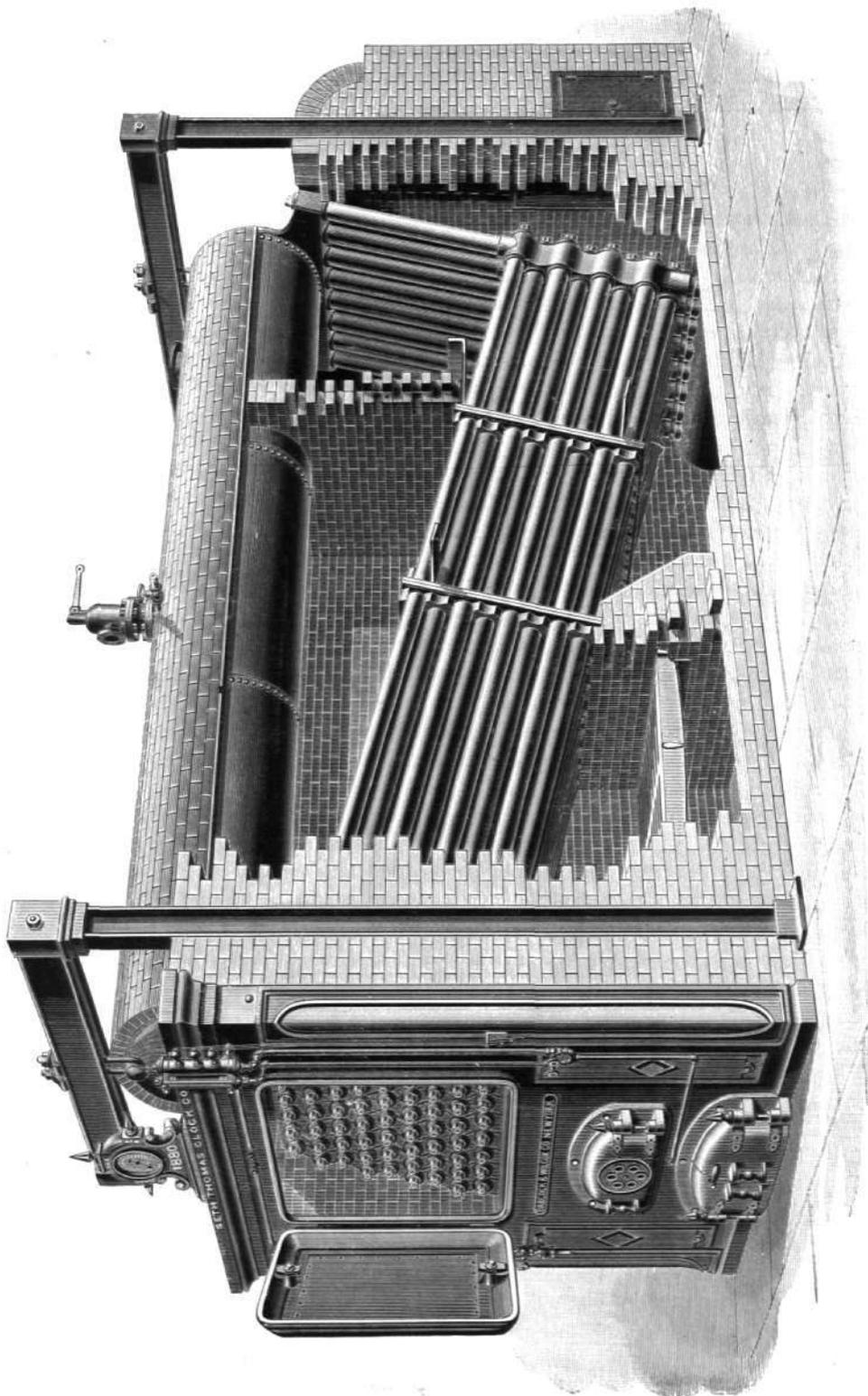
El libro no trata solamente de la caldera propiamente dicha, sino que además de las interesantes investigaciones del Señor Babcock acerca de la misma, encierra tambien las que ha hecho á propósito de la disposición del hogar, y del aparato para forzar el tiro, puntos ambos que examina y son tratados con absoluta independencia del sistema de caldera, y en forma útil para los constructores de todos los tipos. Estos verán en el texto indicaciones de gran valor, y consejos dignos de ser tenidos en cuenta acerca de los combustibles, su influencia en la dimensión de los hogares, conducción del fuego, alimentación de las calderas, importancia del empleo de agua previamente calentada, incrustaciones y modo de lograr que no se formen; en una palabra sobre todo aquello que interese para conseguir economia, seguridad y conservación.

La obra termina con una lista muy interesante de pruebas de rendimiento hechas con las calderas Babcock y Wilcox, las cuales demuestran su excelente modo de funcionar.

El Señor Babcock añade al estudio de la producción del vapor el de sus aplicaciones á diversos usos industriales, como manera de calentar y evaporar los líquidos, la desecación en general, y calefacción de edificios. A éste fin dá indicaciones prácticas muy útiles relativas á la cuestion compleja de las tuberías para el vapor, movimiento de éste fluido en las cañerías, medio de protegerlas para evitar las pérdidas por irradiación, y por último manera de estimar experimentalmente y con rapidez el grado de sequedad del vapor.

En resumen, creemos que el público á quien se dedica éste libro, reconocerá sin género ninguno de duda, que el Señor Babcock ha hecho un trabajo considerable y meritorio tanto desde el punto de vista teórico como del práctico.

Prof. V. DWELSHAUVERS-DERY.



Caldera Babcock y Wilcox de 132 metros cuadrados de superficie de Calefacción instalada en la Seth Thomas Clock Coy. (Fábrica de Relojes) Thomaston, Connecticut, instalada en 1880.



ECONOMIA Y SEGURIDAD EN LA PRODUCCIÓN DEL VAPOR.



A economía en el empleo del carbon es asunto de grande y creciente importancia.

Se calcula que la producción anual de carbon, en todo el mundo, actualmente, es de 400,000,000 de toneladas, próximamente.

La memoria publicada en 1870 por la Real Comisión de Inglaterra estableció que, en aquella época, el consumo se repartía en las proporciones siguientes :

Metalurgia y Minas	44 por 100
Usos domésticos, comprendido el gas y las distribuciones de agua	26 por 100
Industrias en general	25 por 100
Transporte por mar y tierra	5 por 100

Ahora, si se tiene en cuenta que la mayor parte de la proporción de carbon atribuida á la metalurgia y á las minas, sirve para producir fuerza motriz, y que igual pasa con lo gastado en las distribuciones de agua en la parte designada para usos domésticos, se admitirá, sin dificultad, que estamos muy cerca de la verdad estimando la mitad de la producción total del globo, ó sean 200 millones de toneladas, como la cantidad de carbon anualmente gastado para la producción del vapor. Si buscamos el valor que representa tal consumo y tomamos como base de nuestro cálculo, el precio medio de 12.50 francos por tonelada, llegamos á la cifra formidable de dos mil quinientos millones de francos, gastados en la producción de vapor ; de cuya cantidad se deduce que cualquier tanto por ciento que se economice, por pequeño que

éste sea, viene á aumentar en gran manera la riqueza del mundo.

Se calcula que el uso de vapor en el mundo ha aumentado, durante los ultimos veinticinco años, en un 80 por 100, de modo que los datos anteriores no tienen nada de exagerados hoy en dia.

Aunque los fabricantes é Ingenieros han estudiado con gran ahinco la manera de perfeccionar las máquinas de vapor, con el fin de reducir el gasto de vapor en las mismas, para una cantidad dada de fuerza, no han estudiado cuanto era necesario la economía en la producción de este vapor. En cuanto á las calderas que hasta hoy se han usado, son con poca diferencia semejantes á las usadas á fines del siglo pasado, y muy poco ha sido el adelanto que se ha hecho con relacion á la economía, en su funcionamiento. Durante estos ultimos años, sin embargo, los que usan calderas, se han convencido de la necesidad que hay de que estas reunan tan buenas ó mejores condiciones de economía, como una máquina de vapor.

La experiencia de los Ingenieros y las investigaciones científicas han establecido las siguientes.

Condiciones de una caldera de vapor perfecta.

1°—Los materiales deben ser de la mejor clase, su construcción sencilla, buena su mano de obra, duradera y que no esté expuesta á frecuentes y prematuras reparaciones.

2°—Debe tener un recipiente de sedimentos, colocado lejos de la acción del fuego, en donde se recojan todas las impurezas del agua.



*Calderas Babcock & Wilcox en la Estación, Deptford, de la London Electric Supply Corporation, Limited ;
25 calderas instaladas en 1888-89, para suministrar vapor á las Máquinas Compound, formando un conjunto de 12,000 caballos indicados.
La Estación cuando esté completada tendrá 120,000 caballos.*

3°—Una capacidad suficiente para vapor y agua que impida las repentinas fluctuaciones, tanto en la presión, como en el nivel del agua.

4°—Una gran superficie de agua para facilitar el desprendimiento del vapor y evitar la formación de espuma.

5°—Una circulación de agua constante y completa en toda la caldera, á fin de que toda ella se mantenga á una misma temperatura.

6°—El espacio ocupado por el agua dividido en secciones, dispuestas de manera que si alguna de ellas estalla, no pueda haber una explosión general y los efectos destructores se reduzcan á los que se produzcan por la materia explosiva contenida en una sección; las comunicaciones entre las diversas secciones muy amplias para que el nivel de agua y la presión del vapor sea igual en todas sus partes.

7°—Un gran exceso de resistencia sobre cualquiera presión que pueda tener que resistir, construida de manera que no se resienta por la expansión desigual, y si es posible que no haya ninguna costura expuesta á la acción directa del fuego.

8°—La cámara de combustión, construida de manera que la combustión de los gases empezada en el hogar sea completa antes de que se escapen por la chimenea, debiéndose remover el fuego en el hogar.

9°—Las superficies de calefacción deben encontrarse, en cuanto sea posible, normalmente con las corrientes de los gases calientes, de manera, que las corte y las rompa aprovechando así toda su potencia calórica, por absorción del calor.

10°—Todas las partes fácilmente accesibles para su limpieza y reparación. Esta es una condición de la mayor importancia para la seguridad y la economía de la caldera.

11°—Bien proporcionada para el trabajo que tenga que hacer, y capaz de funcionar al máximo de su carga con la mayor economía.

12°—Los niveles de agua, manómetros válvulas de seguridad y otros aparatos necesarios, deben ser del mejor sistema y la mejor calidad.

Importancia que hay en preaver las Explosiones.

Que la forma de calderas ordinarias está expuesta á explosiones desastrosas, nadie lo pone en duda. Que tales explosiones ocurren, lo prueba la triste lista de las desgracias producidas por ellas cada año y casi todos los días. En el año 1880 ocurrieron en los Estados Unidos 170 explosiones que ocasionaron la pérdida de

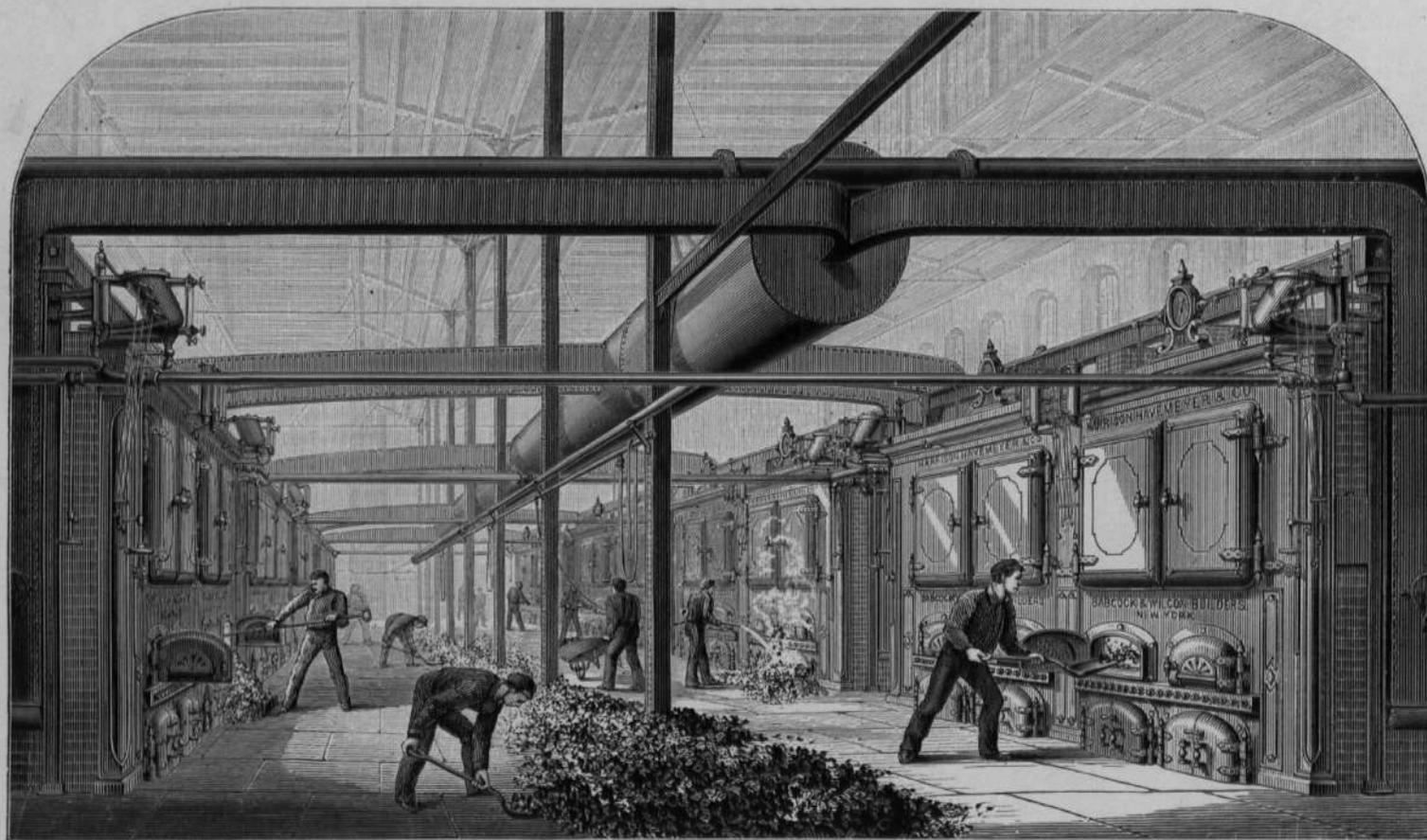
259 vidas, y lesiones graves á 555 personas. En 1887 el numero de explosiones fué de 198, llegando á 652 las víctimas, entre muertos y heridos graves. El término medio de desgracias ocurridas anualmente durante los últimos diez años, viene á ser el mismo que el de los dos citados años. Además de las muchas que no aparecen en las estadísticas oficiales.

Es inútil achacarlas á causas misteriosas y con estas explicar la energía destructiva desenvuelta por la explosión de una caldera, pues esta tiene encerrado en sí una fuerza suficiente y de sobra para dar cuenta de todos los fenómenos que se presentan. El Profesor Thurston (*), en una de sus memorias, estima que la fuerza almacenada en una sencilla caldera cilíndrica recta, funcionando á una presión de 7 atmósferas, es suficiente para arrojarla á una altura de más de 5,500 metros; en una caldera de dos hogares interiores hay suficiente para arrojarla á 4,000 metros; una caldera de locomotora á una presión de 9 atmósferas á mas de 1,000 metros; y una caldera tubular á retorno de 60 caballos á una presión de 5 atmósferas, á mas de 1,600 metros.

Dice dicho Profesor "60 kilogramos de agua calentados bajo una presión de 4 á 5 atmósferas, contienen tanta fuerza explosiva como un kilogramo de pólvora de cañón; y á la temperatura del rojo oscuro, dicha fuerza será aun cuarenta veces mayor." Hablando de las calderas con tubos de agua, dice: "En general, la energía explosiva almacenada en calderas de esta forma, es menos que en cualquier otra clase de caldera fija y no muy diferente de la cantidad contenida en una caldera tubular sencilla. Es evidente que, si se las considera seguras de explosiones desastrosas, no es por la pequeña capacidad de su cámara de agua, sino á causa de la división de su contenido en pequeñas cantidades, y sobre todo de aquellos detalles de construcción que dan por resultado la localización de cualquier rotura. Una explosión desastrosa solo puede ocurrir por la rotura de toda la caldera y el que se ponga bruscamente en libertad una masa enorme de agua saturada á alta presión que se vaporice instantáneamente."

En una memoria sobre el resultado de sus trabajos, la Compañía de Seguros é Inspección de Calderas, de Hartford, fecha 1 de Enero 1888, dice, que habiendo inspeccionado 799,582 calderas, ha señalado 522,873 como defectuosas, de las cuales 93,022 se consideran peligrosas. Esta relación dá el estado medio de las calderas

(*) *Transacciones, American Society of Mechanical Engineers.* Vol. 6, pag. 199.



Vista en perspectiva del departamento de MM. Harrison, Frazer y Co. de Filadelfia, conteniendo 5,400 metros cuadrados de superficie de calefacción de calderas Babcock y Wilcox.

actualmente en servicio,—“y quien puede decir que no sea así”—nos encontramos enfrente de la situación gravísima siguiente: que, por cada nueve calderas en servicio ordinario, hay una cuyo funcionamiento es un peligro permanente. El que no haya más explosiones, es debido probablemente, no tanto á la inteligencia y al cuidado que se tiene con las calderas, como á la casualidad de que no se presenten al mismo tiempo todas las condiciones necesarias para que una explosión tenga lugar.

Causas de Explosión.

Está probado por la experiencia de las Sociedades de Seguros de Calderas, de los Estados Unidos y de Inglaterra, que todo el misterio de las explosiones está en la falta de suficiente resistencia en relación con la presión. Esta falta de resistencia puede ser un defecto de construcción en la caldera, pero generalmente proviene de haberse debilitado el hierro, á consecuencia de dilataciones desiguales, resulta de una desigualdad de temperatura en las diversas partes de la caldera, ó bien puede venir de corrosión despues de largo uso, ó defectos de montaje.

Las calderas de vapor bien proporcionadas y bien construidas, pueden, cuando son nuevas, resistir á una presión mucho mayor de la que indica la válvula de seguridad; y la prueba hidráulica convenientemente efectuada puede descubrir faltas en el material, ó la debilidad que resulta de la corrosión; pero contra el peligro producido por la dilatación desigual, las calderas ordinarias no tienen ninguna protección, y este es un hecho que no es debidamente apreciado ni por los Ingenieros ni por el público.

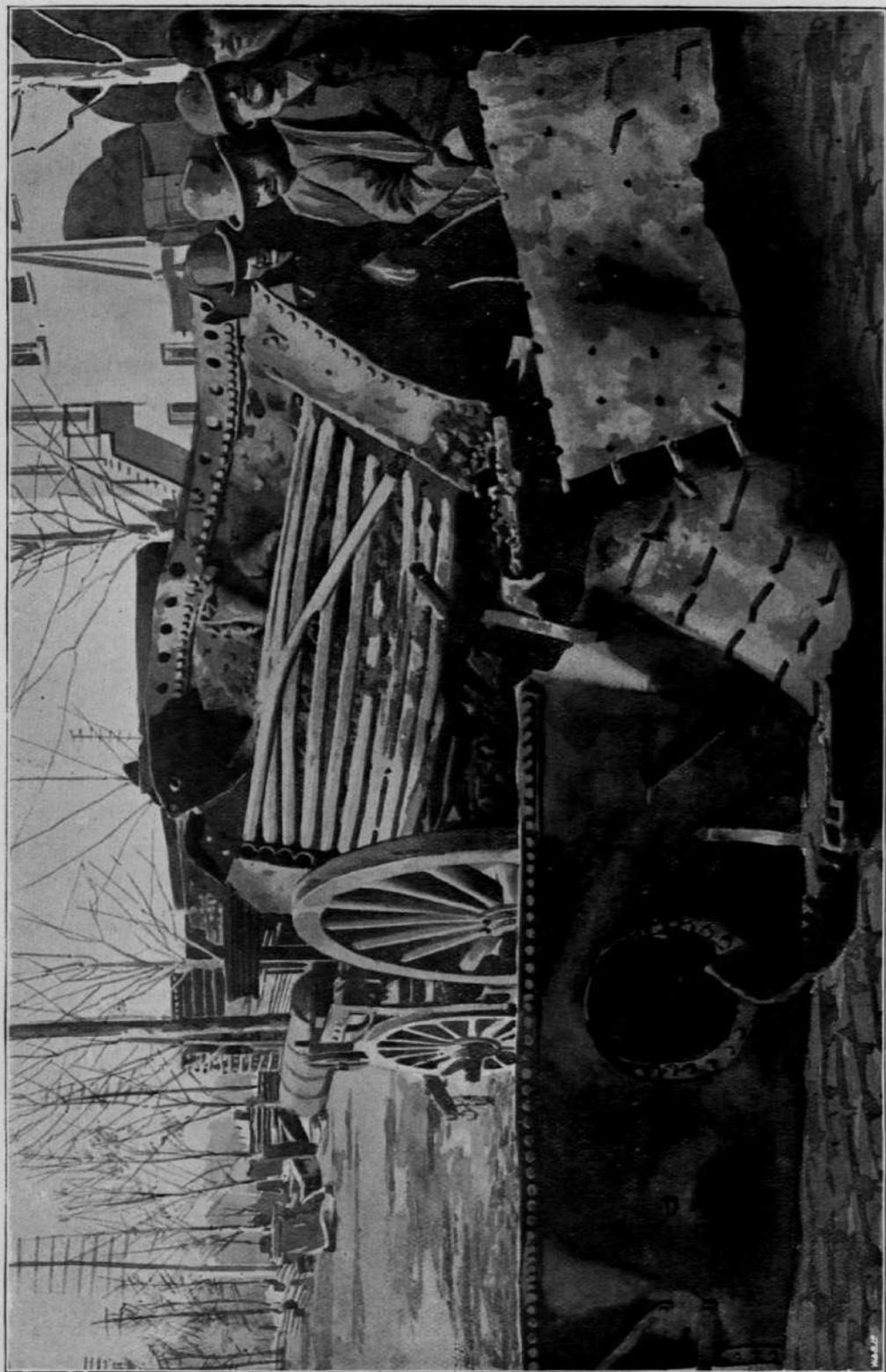
En gran numero de calderas resulta que al levantar vapor, tienen una temperatura muy elevada en ciertas partes, mientras que otras estan aún relativamente frias; necesariamente bajo estas condiciones tienen que ocurrir tensiones enormes en algunos puntos de la caldera, y ésta se debilita; estas dilataciones se producen cada vez que se levanta vapor, y aún quiza otras veces, con el tiempo van perdiendo la fuerza en el punto de la mayor tensión, y el resultado es la rotura; generalmente la rotura es pequeña y gradual, pero tambien puede ocurrir que la rotura sea suficiente para ser causa de una explosión desastrosa. En las calderas examinadas por los Ingenieros de la Compañía de Seguros de Hartford, hasta 1888, se encontraron 24,944 fracturas de las planchas, todas ellas en la misma linea de los

remaches, ó en las costuras, ó cerca de ella; 11,259 de las cuales, ó sea próximamente la mitad tenían ya en el momento de reconocerlas, proporciones suficientes para hacer temer accidentes muy graves.

La falta de circulación del agua en las calderas es muchas veces causa de dilataciones desiguales y de sus efectos debilitantes, á pesar de esto, poco ó nada se prevee en atención á este punto, en la construcción ordinaria de calderas. Otro peligro en estas calderas ordinarias es la falta de agua; y es necesario observar la mayor vigilancia para mantenerla constantemente á un nivel debido. En muchas calderas una baja de unas cuantas pulgadas en el nivel de agua, deja ya secas las planchas del cielo del hogar, ó de otra parte, expuestas á la acción directa del fuego, dichas planchas entonces se recalientan y se debilitan tanto que facilmente puede ocurrir una explosión.

Otra causa frecuente de dilataciones desiguales, y de debilitación por quemarse ó abollarse las planchas, es la existencia de incrustaciones ó sedimentos sobre la superficie de calefacción. Esto puede suceder en toda caldera, pero en muchas de ellas no se han tomado las convenientes disposiciones para quitar dichas incrustaciones una vez formadas; lo cual sucede particularmente en las calderas “tubulares” y de “locomotora.”

Hay motivos fundados para atribuir la mayor parte de las explosiones de calderas (consideradas inexplicables), que han sufrido una inspección rigurosa y han sido sometidas á una presión hidráulica muy fuerte, y que luego estallan bajo una presión mucho menor, á debilidades producidas por dilatación desigual; porque no cabe duda que una caldera que hoy se há puesto á prueba de una presión de 7 atmósferas, no puede estallar á los ocho dias bajo una presión de 4 atmósferas, á no ser que se haya debilitado extraordinariamente por alguna causa, y ni la corrosión, ni ninguna de las causas naturales de deterioro, á no ser la dilatación, puede producir este resultado. Al considerar que la expansión desigual produce sus mayores efectos generalmente al empezar á encender y cuando todavía no hay presión, fácilmente se explica el como puede producirse una fractura en un punto ya consentido por la expansión, y ocurrir una explosión con una presión moderada en una caldera que poco antes ha sido sometida á una prueba; y esta es probablemente la razon por que muchas calderas estallan al levantar vapor, ó poco despues de inyectar agua fria, ó bien al enfriarse como ultimamente ha sucedido en Inglaterra.



Restos de una caldera de 30 caballos que hizo explosión el 9 de Enero de 1888 en los Talleres de Drip en Washington. y que demuestra el peligro de emplear superficies planas atirantadas.



Disposiciones para precaver las Explosiones.

Mucho es lo que se ha trabajado y estudiado, y muchos han sido los experimentos que se han hecho para resolver este problema, y aunque se han construido varias formas de calderas que verdaderamente son á prueba de explosión, en casi todas ellas se han descuidado ciertos elementos necesarios para que resulten buenos generadores de vapor en la práctica. Por esta razón el solo nombre de "caldera de seguridad" ha venido á ser, para muchas personas, motivo suficiente para rechazar las calderas así nombradas, sin mas averiguaciones. Pero la seguridad no es incompatible con las demas condiciones indispensables en un generador de vapor perfecto, y por lo tanto puede conseguirse una cosa sin perjuicio alguno de las otras.

El primer elemento de seguridad es una gran resistencia. Esta puede conseguirse, aun empleando superficies de calefacción delgadas, si se disminuye al mismo tiempo el diámetro de las distintas partes de la caldera, pero sin llevar esta disminución hasta el extremo de perjudicar otra de las condiciones tambien muy importantes, que es la capacidad y amplia superficie de desprendimiento de vapor.

El segundo y mas importante elemento de seguridad, es que la caldera sea de tal construcción, que la resistencia original no pueda ser perjudicada por los esfuerzos destructivos debidos á dilataciones desiguales ó á cualquier otra causa. Este resultado puede obtenerse de dos maneras, ó bien haciendo imposible el que haya expansión desigual, ó bien de modo que tenga la caldera tal elasticidad, que en el caso que la haya no produzca resultado perjudicial.

El tercer elemento de seguridad es el arreglar las distintas partes de la caldera en forma tal, que, si por negligencia culpable ó criminal premeditación llega á bajar mucho el agua en la caldera y hay una explosión, ésta no produzca funestas consecuencias.

En una caldera no debe ser admitida ninguna superficie que necesite estar atirantada. En la práctica es imposible que tales tirantes puedan estar ajustados de manera que sostengan tensiones iguales. El que sostiene la mayor tensión se rompe primero, los demas siguen como es natural, y resulta una explosión desastrosa. La vista fotográfica de la caldera que estalló en Washington, el 9 de Enero 1888, permite ver como en tales casos ejercen acción los tirantes interiores, y la explosión desastrosa de West Chester, Pa., casi al mismo tiempo, se

debió sin duda, á romperse los tirantes que debian sostener el ciclo del hogar.

Los tubos de agua como elemento de seguridad.

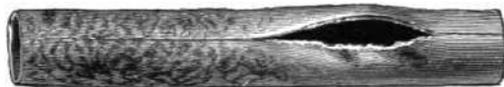
(Traducción de extracto del periódico "Manufacturer and Builder," Febrero 1880.)

Algunos hechos recientes han venido á llamar la atención respecto al grado de seguridad relativa, contra las violentas y desastrosas explosiones, entre los dos sistemas de calderas, el de calderas con tubos llenos de agua, y el de calderas con tubos por los cuales vayan los gases calientes del hogar.

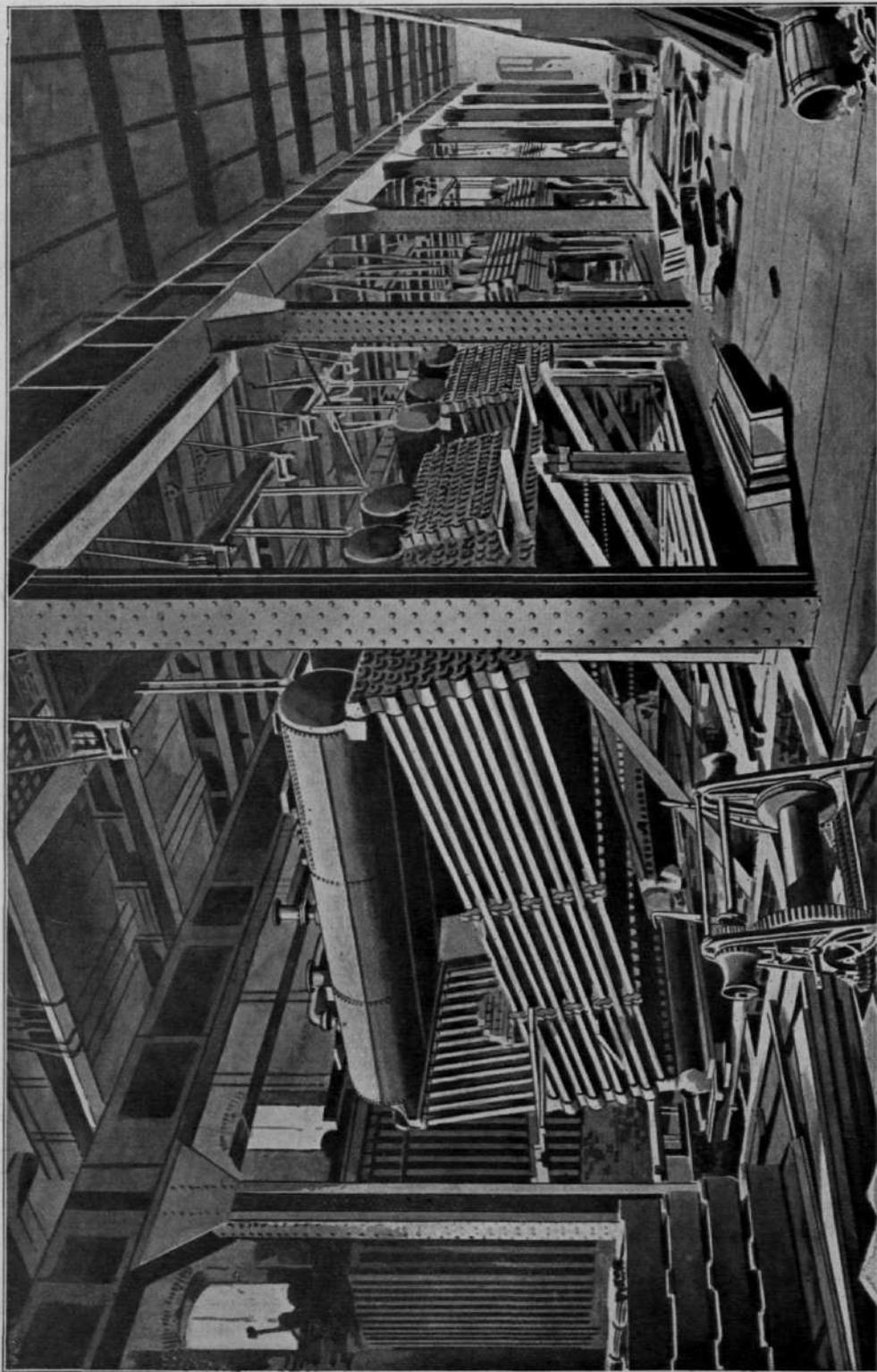
El primer caso es el ocurrido por abandono y descuido en una caldera de vapor del sistema de tubos llenos de agua, como son las construidas por los Señores Babcock y Wilcox. En las circunstancias en que el accidente se produjo la caldera fué sometida á una prueba terrible, y el hecho de que el resultado no fuera una explosión desastrosa por sus consecuencias, habla muy alto en favor del sistema de tubos de agua.

La caldera á que nos referimos es una de 300 caballos, instalada en la Refineria de Azúcar de Brooklyn, y formaba parte de una bateria de 1,500 caballos de fuerza total.

Por uno de esos descuidos que tantas desgracias han causado en otros casos análogos, la alimentación se entorpeció sin que nadie lo notara y el nivel de agua bajó tanto que la caldera quedó casi vacia, y los tubos se recalentaron. El resultado se vé por el grabado, un tubo reventó y este fué todo el daño, quedó reparado inmediatamente con un gasto de 75 pesetas, y la caldera estaba funcionando al día siguiente.



El segundo caso es muy semejante, pero todavia mas instructivo, pues la caldera fué sometida á una prueba mucho mas fuerte. Esta caldera se halla instalada en la cárcel de Elizabeth (N.Y.) y es de la misma clase que la anterior. El encargado de ella era uno de los presos, quien despues de haber encendido los fuegos como de costumbre por la mañana, notó con gran sorpresa que habia pasado mas de una hora, y el manómetro no daba señales de presión alguna. Comunicado el hecho á uno de los oficiales de la cárcel, procedieron in-



Calderas Babcock y Wilcox en la Refinería de azúcar de Spreckles, Filadelfia, 1er piso. 8025 metros cuadrados de superficie de calefacción en estado de montaje.

mediatamente á averiguar la causa, y el resultado de las investigaciones eximió por completo á la caldera de toda culpa por no levantar vapor, pues no se encontró en ella ni una sola gota de agua. Viendose que la llave de extracción estaba abierta y habia estado así desde el dia anterior. Dejamos la palabra al Señor Watson quien relató el hecho :

“ Cuando los investigadores abrieron la puerta del hogar y vieron los tubos candentes tuvieron la idea ingeniosa de echar agua en la caldera con la mayor prontitud, así cerraron la llave de extracción y abrieron la de alimentación. El resultado vino á satisfacer sus esperanzas, el vapor se formó al momento, y salía por la válvula de seguridad rugiendo de una manera espantosa ; y esto fué todo lo que sucedió, á excepción de tener que renovar algunos tubos y una pieza de acero fundido.”

Lo que pudiera haber sucedido si la caldera hubiese sido de tubos de fuego, en vez de tubos de agua, no queremos predecirlo, pero creemos que el Señor Watson no andaba muy desacertado, al decir que, “ probablemente hubiera habido motivo para una sumaria judicial, y la construcción de una nueva cárcel.”

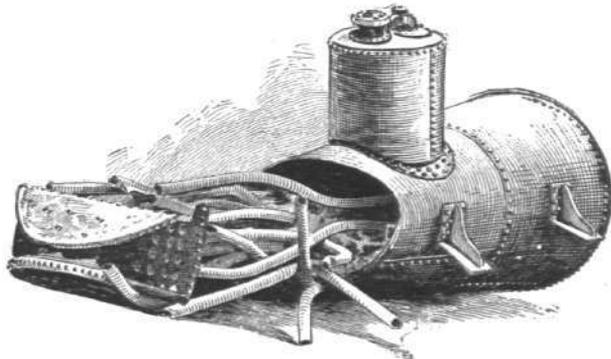
Cuidado necesario.

No hay que creer sin embargo que el emplear tubos de agua basta por sí solo para poner una caldera al abrigo de explosiones. Al contrario, pueden estar combinados con otros órganos sumamente peligrosos, tales como las superficies planas, con tirantes interiores ó sin ellos ; así ocurrió con la caldera “ Phleger ” que hizo explosión en Filadelfia hace algunos años, y la caldera “ Firminich ” que tuvo la misma suerte en Saint Louis el 3 de Octubre 1887. Tambien se han presentado como inexplosibles, á causa de los tubos de agua, un cierto numero de calderas

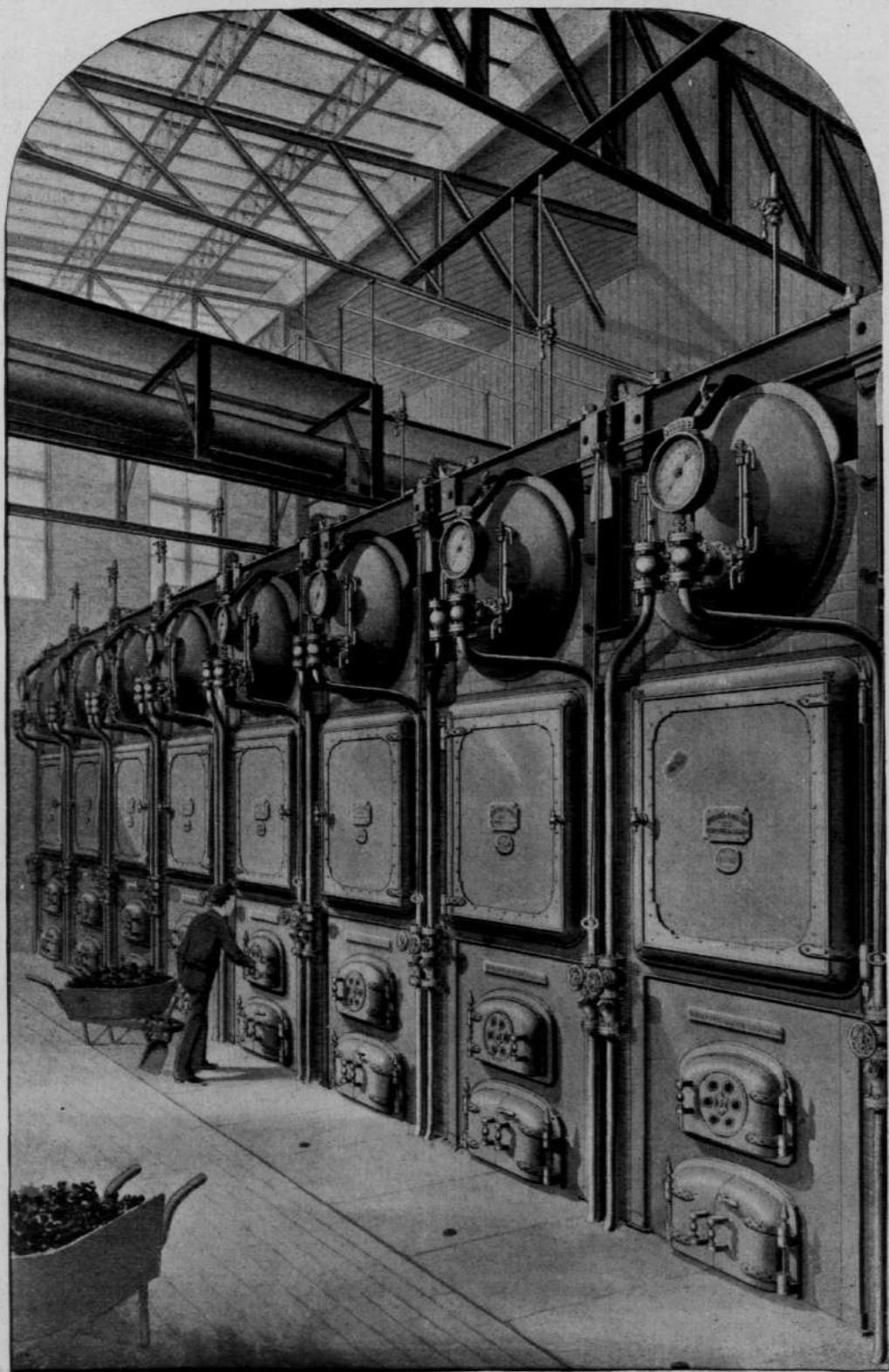
llamadas “ Herisson,” (Erizo.) El gran depósito central que poseén está como una criba á causa de los numerosos agujeros que tiene. El metal así cortado está aun más debilitado por la expansión de los tubos en estos agujeros, y una cosa ya por sí débil queda mas debilitada aun.

Que se puede construir una caldera que sea prácticamente segura contra las explosiones, es un hecho demostrado del cual no duda persona alguna que tenga algun conocimiento de la ingeniería moderna. Entre varios sistemas de calderas estudiadas particularmente para lograr este fin, la caldera Babcock y Wilcox figura en primera línea, tanto desde el punto de vista de la práctica, como de la teoría, principalmente si se considera el gran número de dichas calderas que funciona desde hace mas de veinticinco años con aplicación para todos los usos, en toda clase de condiciones, y bajo la dirección de obreros de todas clases, sin que jamás haya ocurrido una explosión desastrosa.

LAS CALDERAS DE TUBOS DE AGUA BABCOCK Y WILCOX tienen todos los elementos de seguridad en unión con los demas propios para asegurar la economía, duración, facilidad de acceso, etc. Construidas como están, con tubos de hierro dulce ó de acero, y con un depósito de agua y vapor relativamente pequeño, y en absoluto sustraído á la acción del calor de los gases, tienen un gran exceso de resistencia sobre la mas alta presión á que es conveniente trabajar. La rápida circulación del agua asegura la uniformidad de temperatura en todos los puntos de la caldera y evita así las diferencias de expansión que tanto debilitan la resistencia. Ademas de esto su construcción es tal que si por circunstancias extraordinarias, vienen á producirse diferencias de dilatación, ella asegura una elasticidad bastante para que no puedan resultar consecuencias graves.



Caldera tubular con retorno de llama, en la fábrica de la Edison Electric Light Co., West Chester, Pensylvania ; que hizo explosión el 17 de Diciembre de 1887, matando 7 personas é hiriendo otras 8.



Calderas Babcock y Wilcox, en la Imperial Gaz Association, Viena, Austria, 1050 m. c. de superficie de calefacción

En esta caldera la circulación está tan bien estudiada que una corriente rápida de agua circula en toda ella mientras esta contiene un volumen de agua correspondiente á la capacidad de la mitad de los tubos ; habiendo menos agua la circulación cesa, y está expuesta á quemarse la caldera, pero para entonces ya está casi vacía de materia explosiva, y por consiguiente la explosión no puede producir grandes daños.

El éxito que ha tenido dicha caldera desde hace mas de veinticinco años prueba, que, con la aplicación juiciosa de principios justos, unida á la elección minuciosa del mejor material, y al mayor cuidado en la hechura, es posible construir una caldera, que tanto de hecho como de nombre sea una "caldera de seguridad."

Teoría de la producción del vapor.

La composición química conocida por H_2O existe en tres estados ó condiciones físicas diferentes, hielo, agua y vapor ; la única diferencia entre estos estados ó condiciones, consiste en la presencia, ó la ausencia, de una cierta cantidad de energía calórica, que se manifiesta por la temperatura ó por esta actividad molecular, que, á falta de otro nombre, se ha convenido en llamar "calor latente." Para hacer pasar dicha composición de un estado á otro, solamente hay que añadirle ó quitarle calor, dejando iguales las demás condiciones.

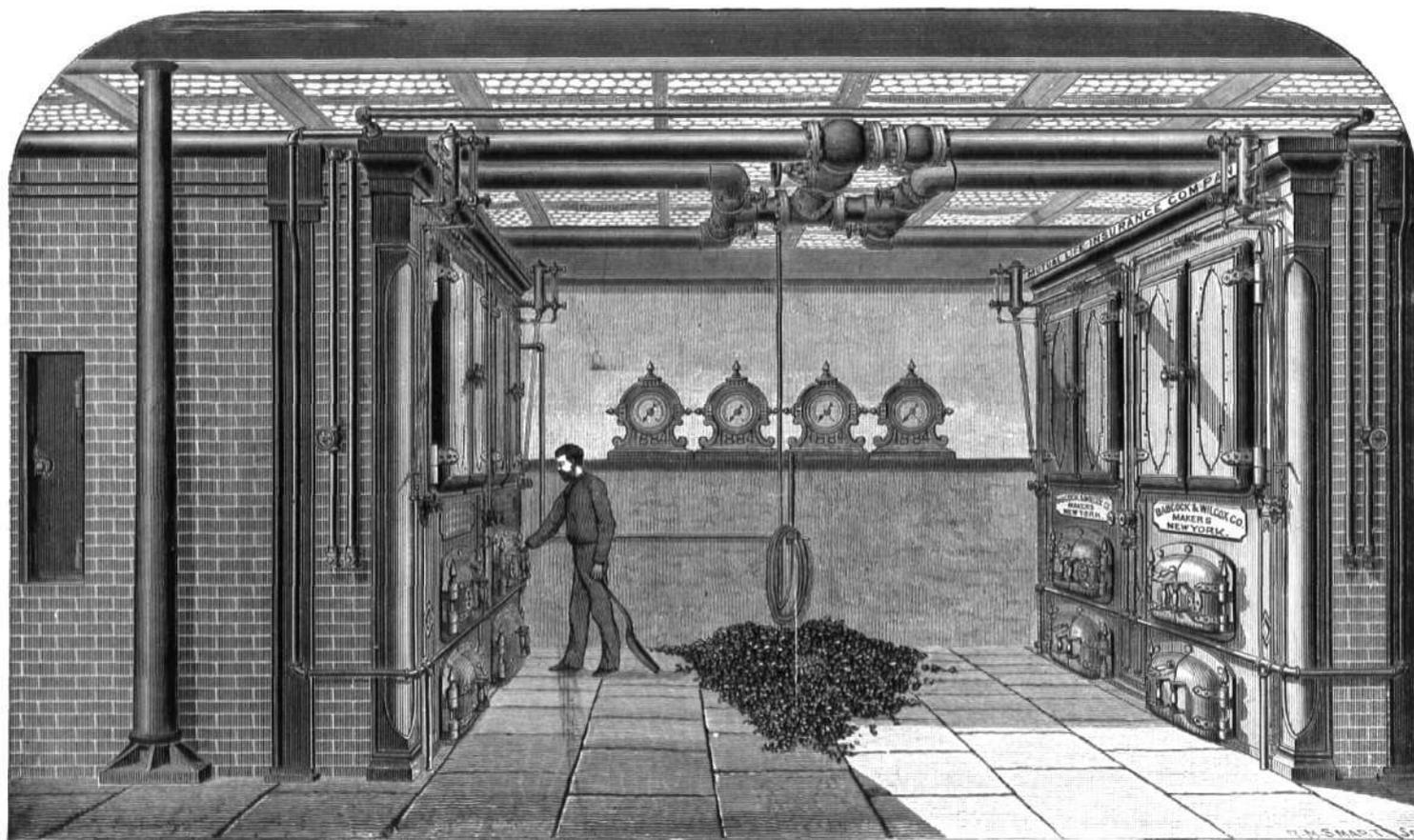
Por muchas experiencias, se ha visto que, cada vez que se transmite una media-caloría, próximamente á un kilogramo de hielo, su temperatura aumenta en un grado centígrado, hasta tanto que no se alcance el *cero Celsius* correspondiente á 273° de temperatura absoluta y siempre que se opere bajo la presión de una atmósfera ó de 10,333 kilogs. por metro cuadrado. Pero que desde el momento en que el hielo ha llegado al *cero Celsius*, todo nuevo calor que se le dé cesa de tener por efecto el aumentar la temperatura, y por esta razón se le llama *latente*, es decir inapreciado por el termómetro. Este calor no quiere decir que se incorpore menos al hielo, que el mismo vá fundiendo, desagregándolo poco á poco, sobrepujando á las atracciones que tenían á las moléculas en las posiciones relativas precisas para la cristalización. Sin duda, las presiones exteriores que concurrían con estas fuerzas interiores, para establecer el equilibrio molecular correspondiente al estado de hielo, son también destruidas por un trabajo latente del calor, pero aquí el volumen cambia tan poco durante la fusión que el trabajo de las presiones exteriores es despreciable.

Precisamente á consecuencia de que la temperatura permanece invariable durante la fusión, hecha en estas condiciones, se le ha elegido para una de las dos señales ó marcas de la escala Celsius. Hace falta dar 79 calorías al kilogramo de hielo á 0° para que no quede ninguna parte sólida en el agua ; y entonces se tiene un kilogramo de agua pura á $0^\circ C$, bajo la presión de una atmósfera, y ocupando una capacidad de un litro próximamente.

Para facilitar nuestras explicaciones, suponemos que este agua se encuentra en un vaso cilíndrico provisto de un émbolo ó pistón que se apoya sobre la superficie y allí ejerce la presión constante de una atmósfera, y que esta presión es invariablemente igual á la tensión del fluido mismo, en todas las condiciones. Si el volumen del fluido aumenta, el pistón sube y allí se verifica un trabajo exterior efectuado á expensas de la energía interna del fluido ; si disminuye, entonces es la presión del pistón la que hace el trabajo á expensas de la energía interna del fluido. Las paredes del vaso cilíndrico son constantemente mantenidas á la misma temperatura del fluido que encierran, lo mismo que el pistón y el fondo ; el fluido es supuesto homogéneo á la misma temperatura en todas sus partes, y no hay cambio de calor entre el fluido y el metal.

Si en estas condiciones se continúa añadiendo calor al agua repartiéndolo con igualdad en todas sus partes de manera que la temperatura sea perfectamente homogénea en toda la masa, la temperatura vuelve nuevamente á elevarse en un grado próximamente por caloría añadida y esto mientras tanto que no llegue á $100^\circ C$, punto de parada nuevo, llamado *punto de ebullición* bajo la presión atmosférica, elegido como segundo punto de señal ó marca de la escala Celsius. Para pasar de 0° á 100° , ha sido preciso transmitir al agua 100,5 calorías de las cuales, una parte (próximamente cuarenta) ha servido para elevar la temperatura, la segunda ha hecho el trabajo interior de desagregación debido al cambio de volumen ; esta segunda es importante porque las resistencias interiores son muy grandes, la tercera por el contrario es pequeña en razón á la pequeñez relativa de la presión exterior.

Tenemos ahora un kilogramo de agua á $100^\circ C$. y bajo la presión de una atmósfera cuyo volumen es un poco superior á un litro. En este estado se dice que el agua *está saturada* si continuamos calentándola, su temperatura no varía y todo el calor recibido, que es latente para el termómetro, sirve únicamente, para hacer el enorme trabajo de desagregación y el trabajo exterior, que esta vez no es despreciable. Se vé



*Calderas Babcock y Wilcox, en el edificio de la Mutual Life Insurance Co.; en Nueva York.
524 m. c. de superficie de calefacción instaladas bajo una rotonda en 1884.*

en efecto al pistón elevarse, al volúmen aumentar mucho, al agua vaporizarse poco á poco hasta el instante en que de ella no queda la menor partícula en el fondo del vaso.

En este momento preciso, el volúmen es de $1^m 657$ y el pistón ha engendrado un volúmen de $1^m 656$ durante la vaporización, bajo la presión constante de 10333 kilgs. por metro cuadrado; ha transmitido por consiguiente al exterior un trabajo de $1,656 \times 10333 = 17111$ km.; al cual corresponde un consumo de 40,2 calorías á razón de una caloría gastada por 425 kilográmetros de trabajo efectuado, cifra generalmente adoptada en Francia. En este instante tambien, el calor latente total suministrado para la vaporización del kilogramo á 100° , ha sido medido y se ha encontrado ser igual á 536,5 cal. Se deduce que hay $536,5 - 40,2 = 496,3$ cal. que quedan incorporados en el fluido y que sirven para mantener las moléculas de este á gran distancia unas de otras. Este es el calor latente de vaporización. Durante la vaporización, el peso del agua vá disminuyendo al mismo tiempo que el del vapor vá aumentando. Se llama *ley del fluido* ó de la mezcla y se representa de ordinario por la letra x el peso del vapor por kilógramo de fluido, de manera que el peso del agua está representado por $(1-x)$. Hablando con propiedad no hay mezcla de agua y vapor, sino dos cuerpos separados, cada uno supuesto homogéneo en toda su masa y transformándose uno en otro cuando se añade ó quita calor. En este estado cada uno de los cuerpos está saturado, es decir, á la temperatura de saturación correspondiente á la presión. El fluido se compone de la suma de dos fluidos distintos: agua saturada en el fondo y vapor saturado que ocupa la capacidad comprendida entre el agua y el pistón. El agua saturada está de tal manera que si, no cambiando la presión, se le transmite calor, por poco que este sea, se vaporiza parcialmente con la mayor rapidéz. El vapor saturado á su vez es tal que si, no variando la presión, se le quita calor, por poco que este sea, se condensa parcialmente con gran rapidéz en el punto en que se opere la sustracción y el pistón desciende. En los dos casos la temperatura no varía.

Tal fluido de doble naturaleza es el que funciona en nuestras máquinas de vapor; solamente que en ellas el fenómeno es más complejo, porque ni el agua ni el vapor allí son homogéneos, porque las paredes metálicas á temperaturas distintas en sus diversas partes están en contacto con vapor ó agua á otras temperaturas y porque en fin se producen movimientos, probablemente violentos en toda

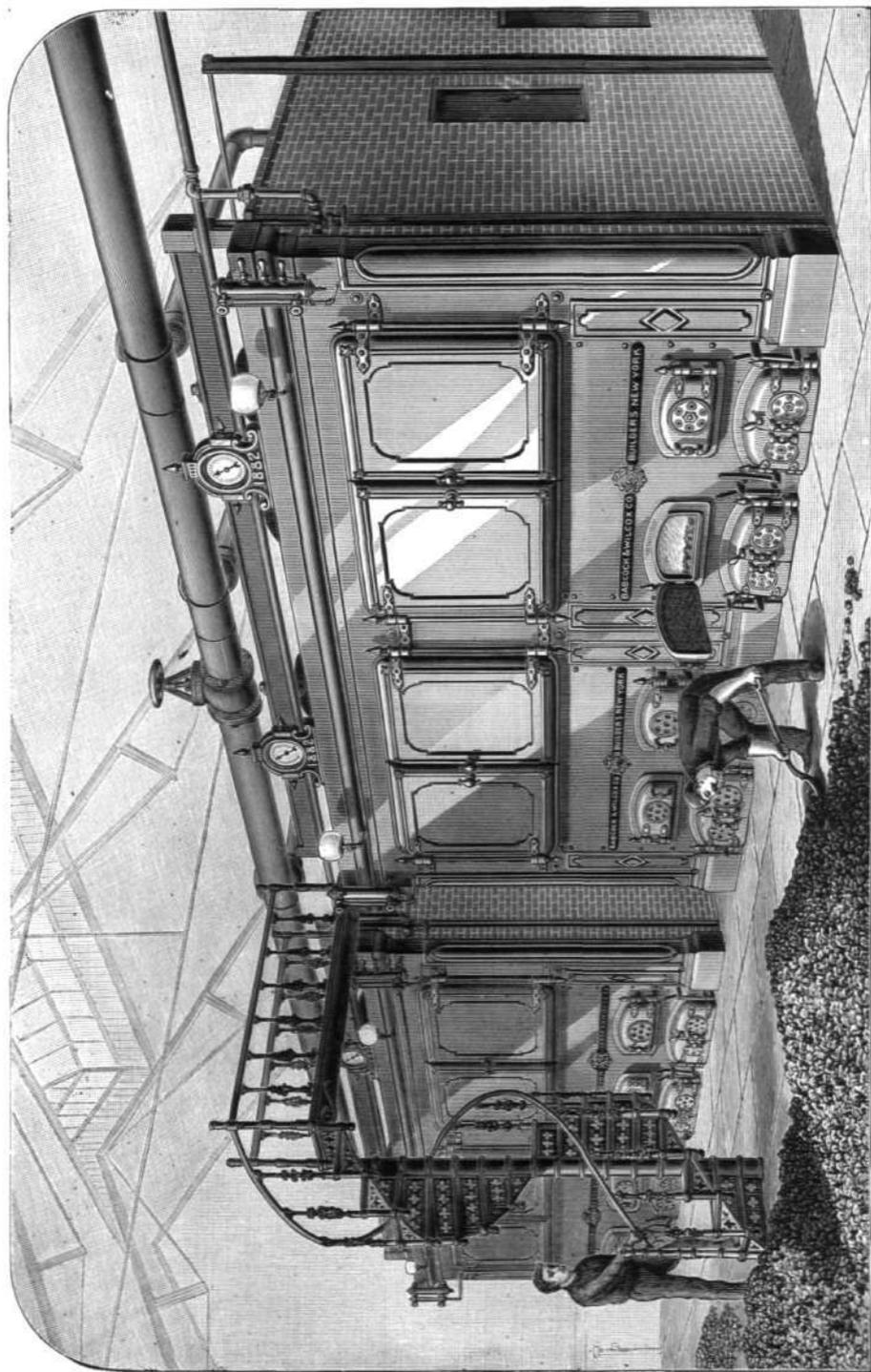
la masa. Por estas razones, los datos experimentales, establecidos en otras condiciones no deben aplicarse á las máquinas, sino con toda reserva y prudencia, no considerando á los resultados á que por ellos se llega, sino como términos medios cuyo grado de aproximación no se conoce, y aceptables solamente entre límites generalmente muy distantes.

Si en la experiencia precedente se hubiese operado bajo otra presión, se habrían observado los mismos fenómenos, de fusión á temperatura constante muy poco diferente de 0° , y de vaporización á temperatura constante siempre, pero que puede diferir mucho de 100° segun la presión. A cada presión dada corresponde una temperatura de saturación determinada, como se ha demostrado por las experiencias de Regnault, con arreglo á las cuales se han formado todas las tablas de vapor saturado. En este caso se encuentran las que aquí van unidas.

En resúmen, operando bajo una atmósfera de presión, para transformar un kilogramo de hielo á 0° en vapor saturado seco á 100° , basta añadir en tres momentos una cantidad de calor representada por 675,8 calorías, de las cuales 79 se emplean para fundir el hielo á 0° , 100,5 para calentar el agua á 100° y 496,3 para vaporizarla á esta temperatura; y ademas hacen falta 40,2 calorías para hacer el trabajo exterior necesario para el cambio de volúmen.

Supongamos ahora que, bajo una atmósfera de presión, se quiera, por un procedimiento inverso, transformar un kilogramo de vapor saturado puro en hielo á 0° , será preciso quitarle 675,8 calorías y ademas reducir su volúmen. Como la reducción de volúmen se opera bajo la presión del pistón, se verifica un trabajo exterior de 17111 km. que exige se sustraigan 40,2 calorías ademas de las 675,8 lo que dá un total de 716 calorías á sustraer.

Si tenemos en el vaso un kil. de vapor saturado pues, cuya *ley* $x=1$, si se le añade calor manteniendo la presión constante, la temperatura se irá elevando, el volúmen aumentando y por el conjunto de estos dos efectos, de los cuales solo el primero aprovecha al vapor, se habrá gastado 0,48 calorías por grado de aumento de temperatura. Se habria gastado en menos el calor equivalente al trabajo exterior, si se hubiese operado á volúmen constante aumentando de un modo conveniente la presión del pistón. En estas condiciones nuevas se dice que el vapor está *recalentado* ó *sobrecalentado*. Se le puede recalentar hasta la temperatura de disociación sin que se presente ningun nuevo punto singular. Evidente-



Caldéras Babcock y Wilcox, en la Cerveceria Mc Awoy, en Chicago, Illinois: 800 m. c. de superficie de calefacción.

mente se puede tambien por un procedimiento inverso, recuperar el calor empleado en recalentar y hacerlo de un modo útil.

Se vé en resumen que, para formar vapor es preciso calentar el agua, una parte del calor que se emplea se le *incorpora*, este es el que corresponde ya á la elevación de la temperatura, ya al trabajo para vencer las fuerzas moleculares internas, y no depende mas que de los estados inicial y final del fluido, no de sus estados intermedios ni de la presión exterior. Otra parte es *anulada*, esta es la que corresponde al trabajo exterior, depende naturalmente de la presión, pero no es menos indispensable puesto que el volúmen debe cambiar.

Luego, la generación del vapor exige dos cosas: 1° que se tenga calor; 2° que se transmita este calor al agua.

La combustión es la que origina las calorías, y los gases que aquella produce son los que sirven de vehículos á estas, y gracias á la fuerza motriz debida á la diferencia de temperatura se ven obligadas á pasar á través del palastro de la superficie de calefacción. La economía en la producción y la transmisión del calor al agua forman el objeto principal de este Tratado.

Un kilogramo de combustible tiene una *potencia calorífica* determinada, que se puede expresar de dos modos, en calorías ó en el número de kilogramos de vapor que podria engendrar la cantidad íntegra del calor desprendido por una combustión químicamente perfecta. Solamente que para tener esta segunda unidad con precisión hay que definirla completamente. En medidas inglesas se admite que el vapor se produce á 100° con agua ya calentada á 100°. La unidad es la libra de agua así vaporizada. Si en medidas métricas sustituimos el kil., un kil. de agua vaporizada á 100° representará 536,522 calorías, es decir, el calor latente del kil. de agua á 100°. Sería mas práctico adoptar el *calor total* del kil. de vapor á 6 atmósferas, es decir 655,062, ó 655 calorías, en números redondos. Pero vale mas conservar la unidad inglesa adoptada en muchos países para no perjudicar á nadie.

La potencia calorífica de un combustible representa pues, un número de kilogramos de vapor que no se podria jamás obtener de una caldera apesar de las manifestaciones de los charlatanes, porque nuestros hogares no pueden llegar jamás á quemar completamente el combustible y no se podria por ningún procedimiento transmitir al agua todo el calor producido aun por una combustión imperfecta.

La primera de las condiciones de economía, es que el combustible se queme de la manera

mas ventajosa. Un kilogramo de carbon produce, por su combustión completa, es decir, su transformación total en ácido carbónico, 8080 calorías próximamente y así ocurrirá cualquiera que sea la temperatura ó la rapidez de la combustión, ya se haga ésta con la lentitud de la oxidación del hierro ó la pudrición de la madera al aire libre, ya se produzca con la instantaneidad con que detona la pólvora, el calor total producido será exactamente el mismo en todos los casos: que se mantenga el cuerpo en combustión al límite inferior extremo de temperatura, en punto muy próximo á aquel bajo el cual ya no hay combinación posible ó que se le eleve á una temperatura próxima á la de disociación, la cantidad de calor desprendida será absolutamente la misma. De lo cual se deduce que puede permitirse una gran latitud en la manera de verificar la combustión sin que esto tenga efecto alguno sobre la cantidad de calor producido.

Mas en la práctica, se vé que hay otras consideraciones que limitan esta latitud y han de concurrir ciertas condiciones que son necesarias para obtener con la mayor ventaja posible el grado máximo de calor, quemando un kilogramo de carbon.

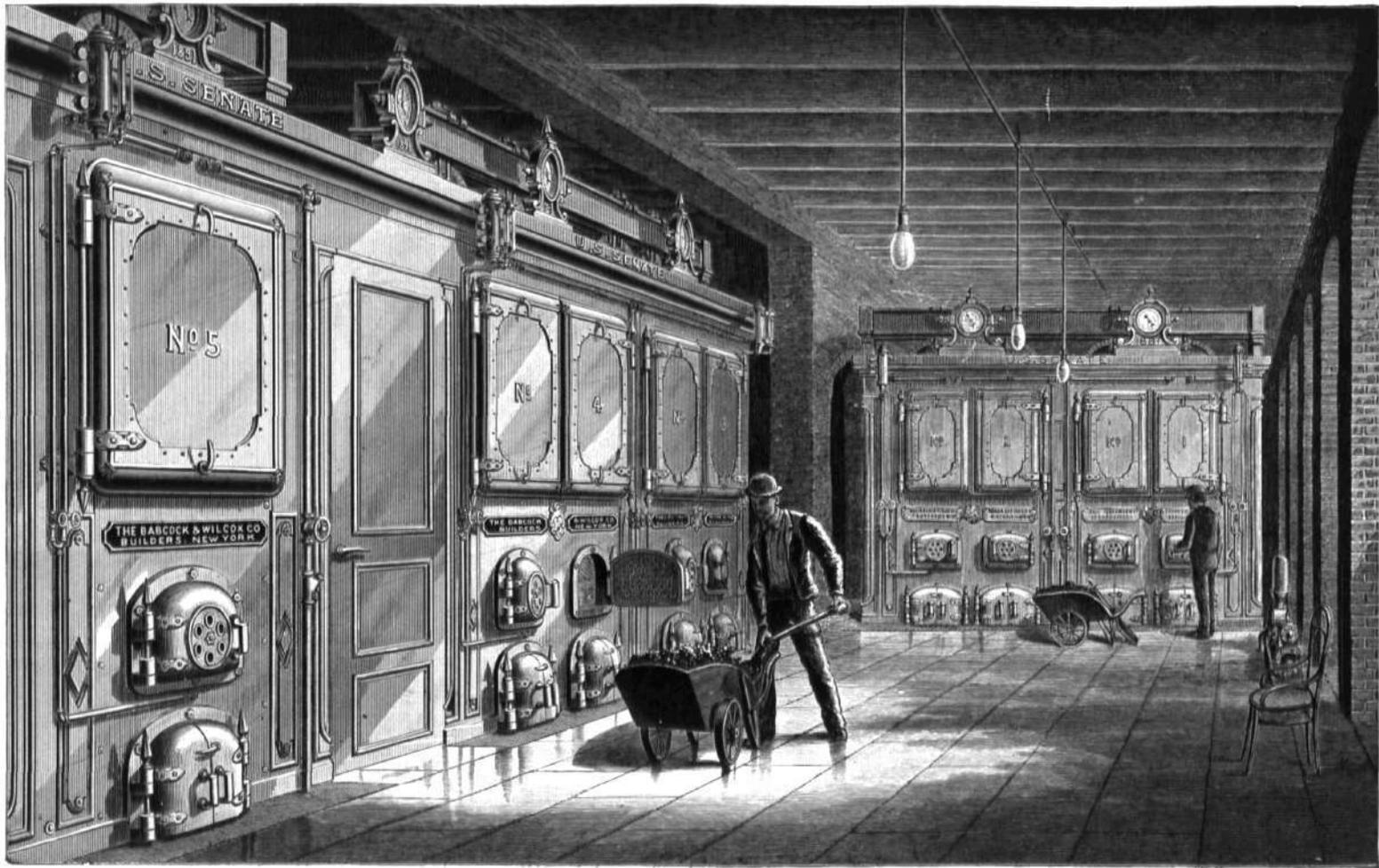
El calor produce necesariamente tres efectos.

El Primero, y principal aqui es calentar y vaporizar el agua de la caldera. Para que una caldera sea perfecta debe utilizár todo el calor de la combustión; pero no hay calderas perfectas y existen causas inevitables de pérdida de calor.

El Segundo. Una parte del calor de la combustión es arrastrada á la chimenea con los gases perdidos. Esta pérdida es proporcional al peso de los gases y á la diferencia que existe entre su temperatura en el momento en que ellos dejan la superficie de calefacción y la del aire y carbon á su entrada en el hogar.

El Tercero. Otra parte se pierde por radiación á través de las paredes del hogar. En una estufa todo el calor se gasta de estas dos últimas maneras, es decir, ó se marcha por la chimenea, ó está irradiado en la atmósfera que la rodea, este es el que produce efecto y por ello se procuran grandes superficies radiantes.

En las calderas ocurre todo lo contrario, se procura reducir al mínimo la irradiación para hacer que el calor así perdido sea el menor posible. Las pérdidas por irradiación son proporcionales al desarrollo de la superficie radiante, y dependen de su naturaleza, de la temperatura y de la duración de la irradiación. Se las suprime casi enteramente por el empleo de paredes gruesas, con paramentos lisos, pulidos ó brillantes, pero en la práctica los gastos que



Calderas Babcock y Wilcox, en el Palacio del Senado, Capitolio de los Estados Unidos, en Washington, D. de C., 335 m. c. de superficie de calefacción, montados en 1887, 560 m. c. montados en 1891.

de ello resultan no estan compensados con la economia realizada.

Es evidente que la temperatura de los gases perdidos no puede conseguirse de un modo útil que sea inferior á la del agua en las partes extremas de la superficie de calefacción. Decimos útilmente por que si aquella se produjera por la entrada de aire cerca del hogar por orificios, los gases se enfriarian pero su rendimiento desde el punto de vista de la vaporización no habria mejorado.

A consecuencia de estas entradas de aire, son producidas esas bajas temperaturas que se observan algunas veces á la base de las chimeneas y que observadores superficiales las han despreciado, viendo en ellas la prueba de un funcionamiento económico. Todo exceso de aire admitido en el hogar ó mezclado con los gases de la combustión, antes de que estos hayan pasado por las superficies de calefacción, ocasiona una pérdida de calor.

Lo que precede nos permite comprender porqué la temperatura y la rapidéz de la combustión, pueden, tratándose de las calderas, influir sobre la economia del combustible y el porqué la cantidad de calor utilizado en la generación del vapor, puede ser mucho menor, si la combustión se produce á una temperatura mas bien que á otra, aunque la cantidad de calor desarrollado sea la misma en todos los casos.

Suponiendo que no pase ningun aire por la chimenea que no haya pasado á través del fuego, cuanto mas alta sea la temperatura del hogar y cuanto mas baja sea la de los gases que se escapan, mayor es la economia, pues entre la pérdida por los gases que escapan por la chimenea y el calor generado por la combustión, habrá la misma proporción que entre la temperatura de estos gases y la del fuego. Es decir, que si la temperatura del fuego es de $1,400^{\circ}$, y la de los gases en la base de la chimenea de 280° sobre la de la atmósfera, la pérdida por la chimenea será $\frac{280}{1400} = 20$ p 100. Puesto que los gases que se escapan no pueden tener útilmente una temperatura mas baja que la del agua al extremo de la superficie de calefacción, la cual es prácticamente una cantidad fija, la temperatura del fuego tiene que ser alta para obtener buena economia.

Las pérdidas por irradiación, estando practicamente en proporción con el tiempo, seran tanto menores cuanto mas activa sea la combustión.

De todo lo cual se deduce; que debemos quemar el carbon rápidamente y á una alta temperatura, para obtener la mayor economia efectiva. En cuanto á la transmisión mas económica indicaremos las condiciones, despues

de haber expuesto los principios generales de la producción del trabajo exterior, por medio de la fuerza llamada *calor*.

SOBRE LA TEORÍA DE LAS MÁQUINAS CALÓRICAS.

Hemos visto que agregando calor al agua á 0°C , se podia transformarla en vapor á una alta temperatura, y que por un procedimiento inverso, quitando calor al vapor se le podia condensar en agua y enriarla á 0°C ; que en virtud de una ley natural, la primera operación era acompañada de una dilatación, apesar de la resistencia exterior del pistón y que, en consecuencia, una parte del calor que se habia suministrado se consumia en la producción de este trabajo exterior, y que la segunda operación, inversa de la primera, era acompañada de una contracción, durante la cual el trabajo efectuado por la presión exterior del pistón creaba una cierta cantidad de calor que necesitaba sustraerse al mismo tiempo que el incorporado al vapor.

Es útil expresar algebraicamente estos fenómenos. Para ello, si designamos por \bar{e} el trabajo exterior en kilográmetros, el calor equivalente será representado por $A\bar{e}$, representando A el equivalente calorífico del kilográmetro ó $\frac{1}{423}$. Designaremos por U los calores internos y supondremos que el peso del fluido que se vá á modificar, es el de un kilógramo.

Si se hacen las dos operaciones inversas, bajo la presión de una atmósfera y en las mismas circunstancias, se volverá el fluido á su estado primitivo de agua á 0°C . Bajo la presión constante de una atmósfera, se calienta primero el agua de 0° á 100° , despues á esta temperatura se la vaporiza. De este modo, se ha hecho en definitiva, cierto gasto de calor, Q calorías, que se compone de dos partes, una U_* incorporada al agua, y que hace parte de su calor interno, otra $A\bar{e}_*$ gastada en producir trabajo exterior.

$$Q = U_* + A\bar{e}_*$$

En la operación inversa, hay tambien que quitar calor por dos causas; una volver el calor interno á lo que era en el estado inicial. otra conseguir que el volúmen sea lo que era inicialmente. Se sustraen U_* calorías por la primera causa, $A\bar{e}_*$ por la segunda; sin esto el calor creado por la compresión continuaría incorporado al fluido si no se le quitaba y no se volvería al estado primitivo.

Se vé que este ciclo de operaciones que nuevamente conduce al estado primitivo no puede servir á hacer ganar definitivamente trabajo exterior. Ahora bien, las máquinas calóricas,



Calderas Babcock y Wilcox en la Refinería de azúcar de Cárdenas, en Cuba, grupo de 1,300 m. c. de superficie de calefacción. Instalación total, 2,350 m. c.

entre las cuales sin duda es la mas importante la máquina de vapor, no tienen otro objeto que la producción por efecto del calor de un trabajo exterior utilizable fuera de la máquina. Con este objeto es preciso que el fluido experimente un descenso de temperatura ocasionada por la producción de un trabajo exterior, verificándose en el intervalo de tiempo que media entre el instante en que al fluido se le añade calor y aquel en que se le quita. Un foco de calor dá Q calorías al fluido que está á la misma temperatura. Despues el fluido se vuelve á enfriar realizando el trabajo exterior, y descendiendo su temperatura por efecto de la pérdida de Q' calorías, siendo Q' un número menor que Q . Por último, un trabajo de compresión menor que el trabajo de expansión, vuelve al fluido á su estado primitivo.

En nuestras máquinas, el *foco de calor* es el metal de la pared interior de la superficie de calefacción de la caldera, la cual está á una temperatura constante por la combustión que tiene lugar en el hogar. El agua saturada que se encuentra en contacto con el metal tiene la misma temperatura que la pared y toda transmisión de calor tiene por único efecto vaporizar una parte de ella. De esta manera al agua se le dá el calor Q á la temperatura constante absoluta T .

El *foco de frío*, para un condensador por superficie, es el metal de la pared de los tubos que toca el vapor que se vá á condensar y que se conserva á la temperatura constante absoluta T' por el agua fria de circulación que continuamente se renueva. Para un condensador por inyección, sirve el agua fria misma de la condensación, pero es físicamente imposible conservar-la á una temperatura constante.

Para efectuar estas operaciones, es decir, dar al fluido que evoluciona, Q calorías á la temperatura T y quitarle Q' calorías á la temperatura inferior T' , es preciso que el fluido pueda pasar de la temperatura T á la temperatura T' sin que ningun cuerpo le sustraiga calor y tambien de la temperatura T' á la temperatura T sin que ningun foco se lo añada. El solo medio de obtener estos resultados es disminuir poco á poco la resistencia del pistón, de suerte que el volúmen del vapor vaya aumentando, con lo cual se efectuará un trabajo exterior consumiéndose calor á expensas del fluido y descenderá la temperatura. Sea $A\bar{e}_a$ la cantidad de calor que desaparece en esta expansión adiabática, es decir, sin transmisión de calor. Del mismo modo, si se trata de aumentar la temperatura del fluido sin añadirle calor, es preciso producir una compresión,

gastando un trabajo exterior de \bar{e}_c kilogrametros que incorpore $A\bar{e}_c$ calorías al vapor y lo vuelva al estado inicial que nosotros suponemos es el de un kilogramo de agua pura saturada á T_0 , absoluta, teniendo un calor interno que llamaremos U_0 cal.

De manera que el ciclo completo está constituido por cuatro operaciones. En la primera el metal de la caldera dá al agua, á la temperatura T una cantidad de calor Q cal., de las cuales una parte U_a se incorpora al agua, la otra $A\bar{e}_a$ se consume en producir el trabajo exterior debido al aumento de volúmen. En la segunda, el vapor encerrado en el cilindro verifica su expansión sin recibir calor del exterior; su calor interno que era $U_0 + U_a$ disminuye en $A\bar{e}_a$ que es el equivalente al trabajo de la expansión y desciende á $U_0 + U_a - A\bar{e}_a$, descendiendo su temperatura desde T á T' . En la tercera operación, el metal de los tubos del condensador quita al vapor Q' calorías; de las cuales una parte solamente, $Q' - A\bar{e}_c$, hay que rebajarla del calor interno del vapor, representando por $A\bar{e}_c$ el calor equivalente al trabajo efectuado por la presión del pistón para disminuir el volúmen del fluido. Así al fin de la sustracción del calor por el cuerpo frio, el calor interno del fluido será $U_0 + U_a - A\bar{e}_a - Q' + A\bar{e}_c$. En la cuarta operación, una nueva compresión, \bar{e}_c , eleva la temperatura del fluido desde T' hasta T y reduce el volúmen al de un kilogramo de agua saturada á T_0 . El calor producido, $A\bar{e}_c$, no es absorbido por ningun cuerpo y se incorpora al fluido reproduciendo el calor interno U_0 . Tendremos pues:—

$$U_0 + U_a - A\bar{e}_a - Q' + A\bar{e}_c + A\bar{e}_c = U_0$$

y puesto que

$$U_a = Q - A\bar{e}_a$$

se deduce

$$Q - A\bar{e}_a - A\bar{e}_a - Q' + A\bar{e}_c + A\bar{e}_c = 0;$$

si hacemos

$$A\bar{e}_a + A\bar{e}_a - A\bar{e}_c - A\bar{e}_c = A\bar{e},$$

la primera ecuación se convierte en

$$Q - Q' = A\bar{e}.$$

El calor equivalente al trabajo exterior es igual á la diferencia entre la cantidad de calor suministrada por el foco y la que ha extraído el cuerpo frio.

Evidentemente, en las máquinas de vapor, la expansión no se verifica sin que las paredes metálicas intervengan ya para quitar ya para adicionar calor; ademas, aquella nunca es lo bastante grande para hacer descender la temperatura por bajo de la del metal de los tubos condensadores. Es verdad tambien que no se emplea por completo la compresión adiabática, sino que se le reemplaza por otra operación que



*Calderas Babcock y Wilcox, instaladas en la fábrica de hilados "La Foudre" de la Sociedad Anónima de Hilados y Tejidos Pouyer-Quertier, Petit-Quevilly cerca de Rouen.
2 Calderas montadas en Diciembre, 1885, 2 en Setiembre, 1886, 1 en Junio, 1890, en total: 708 m. c. de superficie de calefacción.*

consiste en condensar todo el vapor por sustracción del calor, elevando luego la temperatura del agua desde la de condensación hasta la de la caldera gastando para esto el calor que proviene de la combustión en el hogar. Por otra parte nuestras máquinas en realidad son imperfectas y el resultado es que el trabajo exterior efectuado es mucho menor que $A\bar{e}$, y la cantidad de calor quitada por el enfriamiento muy superior á Q' .

La máquina que funcionara con arreglo al ciclo de las cuatro operaciones descritas ántes, diríamos que era perfecta. Carnot ha sido el primero, que en 1824, ha determinado las condiciones del ciclo perfecto que aún es conocido con su nombre.

Ha hecho ver que, *si una máquina funciona según el ciclo perfecto, cualquiera que sea el fluido empleado, vapor, aire, gas de la combustión ó cualquier otro, la relación entre la cantidad de calor recibida Q á la temperatura absoluta T y la sustraída Q' á la temperatura T' es igual á la de las temperaturas.* Tenemos, pues

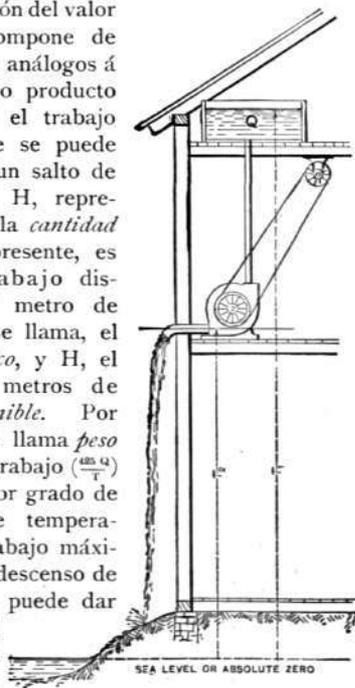
$$\frac{Q}{Q'} = \frac{T}{T'}$$

y el trabajo producido por el motor térmico perfecto puede expresarse en la forma siguiente :

$$\bar{e} = \frac{1}{A} \frac{Q}{T} (T - T') = \frac{425}{T} \frac{Q}{T} (T - T').$$

Este trabajo es un máximo y la cantidad de calor sustraída Q' un mínimo.

La expresión del valor de \bar{e} se compone de dos factores análogos á aquellos cuyo producto representa el trabajo máximo que se puede obtener de un salto de aguas, P y H , representando P la cantidad de fuerza presente, es decir, el trabajo disponible por metro de caída que se llama, el *peso gravífico*, y H , el número de metros de *caída disponible*. Por analogía, se llama *peso térmico* al trabajo $\left(\frac{425 Q}{T}\right)$ disponible por grado de descenso de temperatura. El trabajo máximo que un descenso de temperatura puede dar es pues igual al producto del peso tér-



mico gastado y de la caída de temperatura disponible. Del mismo modo que el trabajo máximo que un salto de agua puede dar es igual al producto del peso del agua que ha caído por la altura de caída.

Carnot ha hecho un brillante paralelo de los procedimientos naturales con arreglo á los cuales, estas dos fuerzas : la gravedad y el calor, hacen trabajo mecánico por el intermedio de los fluidos. Sin extendernos demasiado creemos que la figura unida es apropiada para aclarar las ideas.

Representa el corte de un edificio, en cuyo piso superior hay un depósito de agua que debe alimentar á una rueda hidráulica situada en el piso inferior.

El agua al salir de la rueda, circula por un canal por donde vá á parar al mar, cuyo nivel puede considerarse como el cero de la altura. El depósito superior tiene su nivel de agua mantenido á h^m sobre el nivel del mar ; la salida de la rueda está á h'^m . El peso del agua que se gasta por minuto es P . El trabajo máximo que se podría obtener sería (Ph) km., en el caso de poderse utilizar toda la caída hasta el mar, pero no se obtiene porque el agua sale de la rueda cuando aún podría realizar el trabajo (Ph') km. En estas condiciones, la caída disponible, siendo solo de $(h - h')$ metros, el trabajo máximo que se tendrá por minuto será $P(h - h')$ km.

La relación de este trabajo al trabajo total (Ph) es pues igual á

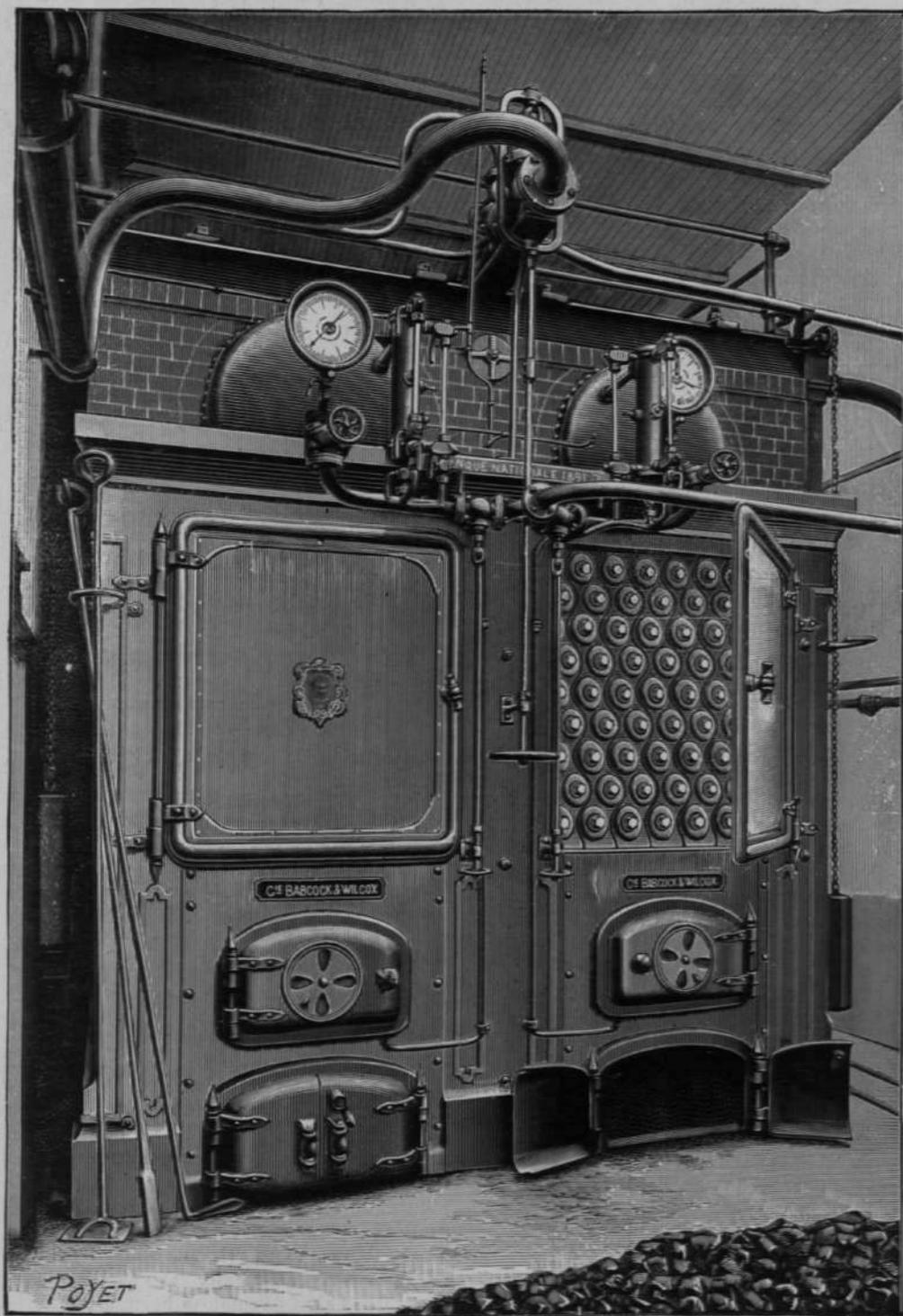
$$\frac{h - h'}{h} = 1 - \frac{h'}{h}.$$

Del mismo modo, con una temperatura superior absoluta T y una caída disponible $(T - T')$ solamente, la relación del trabajo máximo disponible, al trabajo total que podría efectuar el calor, es igual á

$$\frac{T - T'}{T} = 1 - \frac{T'}{T}.$$

De lo que precede se concluye.

- 1.—Que la cantidad de calor utilizado en trabajo exterior no puede ser igual al calor total puesto en acción, sino mediante la condición de hacer descender por medio de la expansión hasta cero absoluto, la temperatura del fluido que se emplee, en cuyo caso poco importa la temperatura T del foco (metal de la caldera).
- 2.—Que con una temperatura inferior fija, igual á T' , cuanto mas elevada sea la T del foco mayor será el rendimiento.
- 3.—Que es más ventajoso bajar la temperatura inferior T' que elevar la temperatura superior T .



Calderas Babcock y Wilcox, instaladas en 1891, en el Banco Nacional de Bélgica, Bruselas.



Tales son los principios, pero sus consecuencias están modificadas por las condiciones que la práctica impone.

1.—La temperatura de la pared tubular en contacto con el vapor en el condensador, es fatalmente mas elevada que la del agua fria de circulación, y la temperatura final del vapor condensado más elevada que la temperatura inicial del agua de inyección en los condensadores por inyección. Se estima que en nuestros climas el mínimo es de 35° á 38° C.

2.—La temperatura T del foco, que es la de la pared metálica interna de la superficie de calefacción, en contacto con el agua que se ha de vaporizar, es siempre muy inferior á la de los gases calientes producidos por la combustión. Esta temperatura tiene como límite el que corresponde á la mayor presión admisible para el fluido que se emplea.

3.—La presión se halla limitada por la solidez de las piezas metálicas de la máquina, independientemente de la naturaleza del fluido que se emplee.

Y como todos los fluidos excepto el mercurio y la trementina llegan á este límite de presión antes que al de la temperatura, es la presión la que en la práctica fija los límites á los cuales hay que atenerse.

Evidentemente, puesto que los límites de la menor temperatura posible y la mayor presión, prácticamente son determinados independientemente de la naturaleza química del fluido que se emplee, se deduce claramente que el fluido que reuna la mayor temperatura con el máximo de presión, á igualdad de las demás condiciones, es el más ventajoso, teóricamente, dentro de una buena economía.

De todos los fluidos disponibles, el agua llena mejor esta condición, y por consiguiente es inútil buscar otro vapor que sustituya al vapor de agua, á no ser que la pérdida incidental con el uso de este último sea bastante mayor que las incidentales de algun otro fluido para contrarrestar esta ventaja. Que haya tales ventajas compensadoras no es probable pues tendrían que ser muy grandes para compensar el coste del fluido, puesto que el agua en la mayoría de los casos se encuentra sin gasto ninguno.

CIRCULACION DEL AGUA EN LAS CALDERAS DE VAPOR.

(Extracto de una conferencia dada por George H. Babcock en la Universidad de Cornell, Febrero 1890.)

Todo el mundo ha visto los fenómenos que se producen cuando se hace hervir el agua en un vaso abierto. El líquido se eleva tumultuosamente á lo largo de las paredes del vaso,

su superficie se deprime en su medio y de este punto nace una corriente descendente. Similares corrientes se producen aun cuando el agua esté solamente calentándose, y para hacerlas visibles basta echar en el líquido unas partículas flotantes. Estas corrientes son debidas á ciertas cualidades del agua, bajo la acción del aumento de calor.

1.—El agua, como la mayoría de las demás sustancias, aumenta de volúmen cuando se la calienta. Si bien para que esto sea verdad necesita ser tomada á una temperatura superior á 4° centígrados, ahora bien como en la producción del vapor rara vez hay una temperatura tan baja, no es preciso tener en cuenta esta excepción.

2.—El agua se puede considerar como un conductor del calor muy malo. Si pudiéramos mantener á 100° la temperatura en la superficie de una masa de agua, y á 75 milímetros por debajo de la superficie colocar una capa de hielo, el calor invertiria dos horas en atravesar la capa de agua, y empezar á fundir el hielo. Por consiguiente, como las partículas del agua calentada no pueden ceder su calor á las partículas próximas, se dilatan y suben por virtud de su menor densidad; mientras tanto las partículas frias vienen á calentarse á su vez; estableciéndose de esta manera corrientes en el fluido.

Cuando toda el agua ha sido calentada hasta el punto de ebullición correspondiente á la presión á que está sometida, cada nueva caloría añadida, convierte una porción (cerca de dos gramos) en vapor, aumentando de un modo considerable su volúmen; la mezcla de agua y vapor elevándose con rapidéz, produce la ebullición como hemos visto en el vaso abierto. Si la cantidad de calor suministrada al líquido es constante y moderada, las condiciones son iguales á las que hemos visto en el primero, subida tumultuosa del agua á lo largo de las

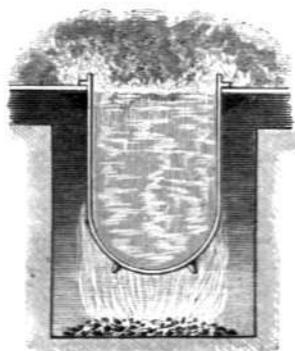


Fig. 1.

paredes, caída hácia el centro, y entonces se produce la corriente. Si, al contrario el fuego se aviva, las corrientes ascendentes se interponen con las descendentes y se desborda el vaso. (Fig. 1.)

Coloquemos ahora en el vaso, otro vaso algo más pequeño (Fig. 2) con un agujero en el fondo y sostenido

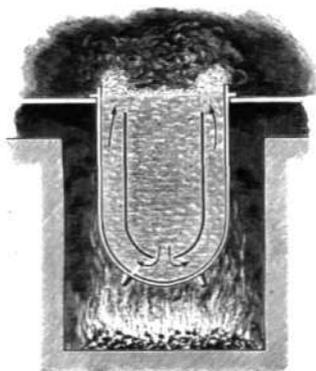


Fig. 2.

á una distancia conveniente de los lados de primero, de modo que las corrientes ascendentes y descendentes estén separadas, entonces podemos forzar el fuego todo lo que queramos, sin producir proyecciones tumultuosas del agua. Pero si hemos colocado un diafragma desviador que sirva para dirigir la corriente ascendente, hácia el centro, será casi imposible producir aquel efecto.

Perkins fué quien en 1831 inventó este tubo interior, y su invención ha sido la base de un gran número de los sistemas empleados para producir la circulación libre del agua en las calderas que han sido probadas desde aquella época. El principio consiste en separar las corrientes de tal manera que no se interpongan unas con otras.

¿Pero cual es el objeto de facilitar la circulación del agua en las calderas? ¿Porqué no podemos, con seguridad, dejar esta circulación á la acción sola de la naturaleza, como se hace en las operaciones culinarias?

La razón es, que esto equivaldría á tener descuidados los tres puntos mas importantes en la construcción de calderas de vapor, á saber, su rendimiento, duración y seguridad, porque cada uno de estos puntos depende más ó menos de una circulación conveniente del agua. En cuanto al rendimiento, hemos visto ya una prueba de la eficacia de la circulación en el experimento del vaso. Cuando facilitamos medios de asegurar la circulación, vimos que era posible activar mucho el fuego, y evaporar el agua con mucha mas rapidéz que antes. Lo

mismo pasa con la caldera de vapor. Hemos visto además, que cuando no habia mas que la circulación natural sin colocar el tubo interior, el vapor que sube llevaba consigo tanta agua bajo la forma de espuma que se desbordaba por el vaso, pero cuando por el contrario se separaban las corrientes, y se establecía una circulación libre, todo tumulto cesaba, y el vapor, en mucha mayor cantidad, se separaba incomparablemente mas seco.

Una buena circulación aumenta pues de dos maneras el rendimiento de la caldera: activa la admisión del calor utilizado en la evaporación y disminuye la tendencia á perder aquel calor por la ebullición tumultuosa con arrastre del agua. Con lo cual coincide el que una buena circulación aumenta el rendimiento de la caldera de una tercera manera; porque impide más ó menos completamente, el depósito de las materias incrustantes. La mayor parte de las aguas contienen en suspensión ó en disolución, materias impuras, que despues de la evaporación del agua, quedan adheridas á los lados del vaso. Estos sedimentos ó incrustaciones vienen á ser tan importantes algunas veces que impiden casi enteramente la transmisión del calor, del metal al agua. Se ha estimado que una incrustación de 3 milímetros disminuye en 25 por 100 el rendimiento de la superficie de caldeo, y dicha estimación es con mucho inferior á la verdad en muchos casos.

La circulación del agua no impide por completo la incrustación, pero sí la disminuye con toda clase de agua, y con alguna clase la impide casi enteramente, ayudando de esta manera considerablemente la eficiencia de la superficie de calefacción.

Otra ventaja debida á la circulación es la duración de la caldera, pues aquella asegura el que todas sus partes estén á una temperatura casi uniforme. El medio de asegurar que no haya exceso de tensiones por su desigualdad en una caldera es conseguir tal circulación del agua, pues esta mantendrá igual temperatura en todos sus puntos.

3. La seguridad vá siempre unida á la duración, pues una caldera que no está expuesta á tensiones desiguales de dilatación y contracción, no solamente está menos sujeta á reparaciones ordinarias sino que tambien está menos expuesta á roturas y á explosiones desastrosas, siendo principalmente la causa á que por regla general son debidas las explosiones, el exceso de tensión originado por dilataciones desiguales.

Despues de haber examinado brevemente las ventajas de la circulación del agua en las calderas, vamos á ver cuales son los mejores

medios de producirla en las condiciones mas ventajosas. Hemos visto en nuestro vaso abierto que era punto esencial que las corrientes no pudieran oponerse unas á otras. Si pudiésemos mirar al interior de una caldera multitubular ordinaria, cuando está produciendo vapor, veriamos un combate curioso de corrientes, precipitándose por acá y por allá, y cambiando continuamente de sentido y luchando fuertemente para conseguir una superioridad momentánea. Las principales corrientes ascendentes se encontrarán en los dos extremos, la una sobre el hogar, y la otra á la extremidad de los tubos, en una longitud de $300^m/10$ próximamente. Entre estas dos tiene lugar la lucha de las corrientes descendentes contra las corrientes ascendentes de vapor y de agua. Si la presión se reduce ligeramente, á causa de una toma

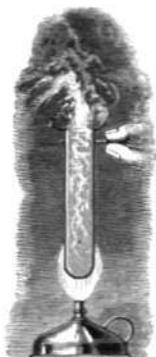


Fig. 3.

brusca de vapor, ó de una abertura súbita de la válvula de seguridad, el agua, arrastrada por el desprendimiento instantáneo del vapor en toda la masa, salta en chorros por todos los puntos de la superficie del líquido. Los efectos de una producción repentina de vapor son conocidos. ¿Quién no se acuerda de la experiencia del vaso de Florencia, dentro del cual se hacia hervir agua, disminuyendo la temperatura de ebullición en el interior del vaso, por la aplicación de un refrigerante al exterior? ¿Quien no há visto la proyección violenta, del geyser minúsculo, que se produce cuando se ha tratado de hacer hervir el agua contenida en una probeta colocada verticalmente sobre una lámpara? (Fig. 3).

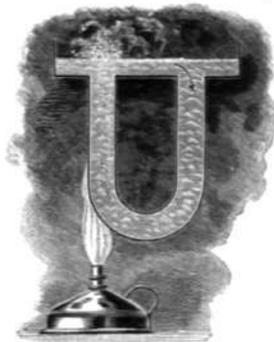


Fig. 4.

Tomemos ahora un tubo en U (Fig. 4) colocado en la parte inferior de un vaso lleno de agua, si aplicamos la lámpara á uno de los brazos del tubo, se establece enseguida una

circulación regular, y ninguna acción espasmódica vendrá á interrumpirla. Esta circulación en el tubo en U representa el verdadero principio de la circulación que se establece en una caldera de tubos de agua bien construida.

Para obtener una superficie del caldeo mayor se puede dar al brazo calentado la forma de un largo tubo inclinado (Fig. 5).

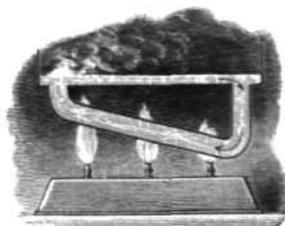


Fig. 5.

Tenemos así el generador de tubos inclinados bien conocido hoy dia. Ahora, con añadir otros tubos podemos aumentar todavia mas la superficie de caldeo (Fig. 6) siempre conservando la forma y funcionamiento del tubo en U. En una disposición semejante la circulación es función de la diferencia en

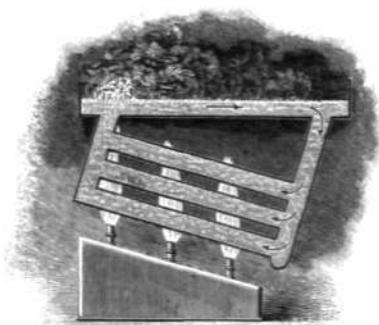
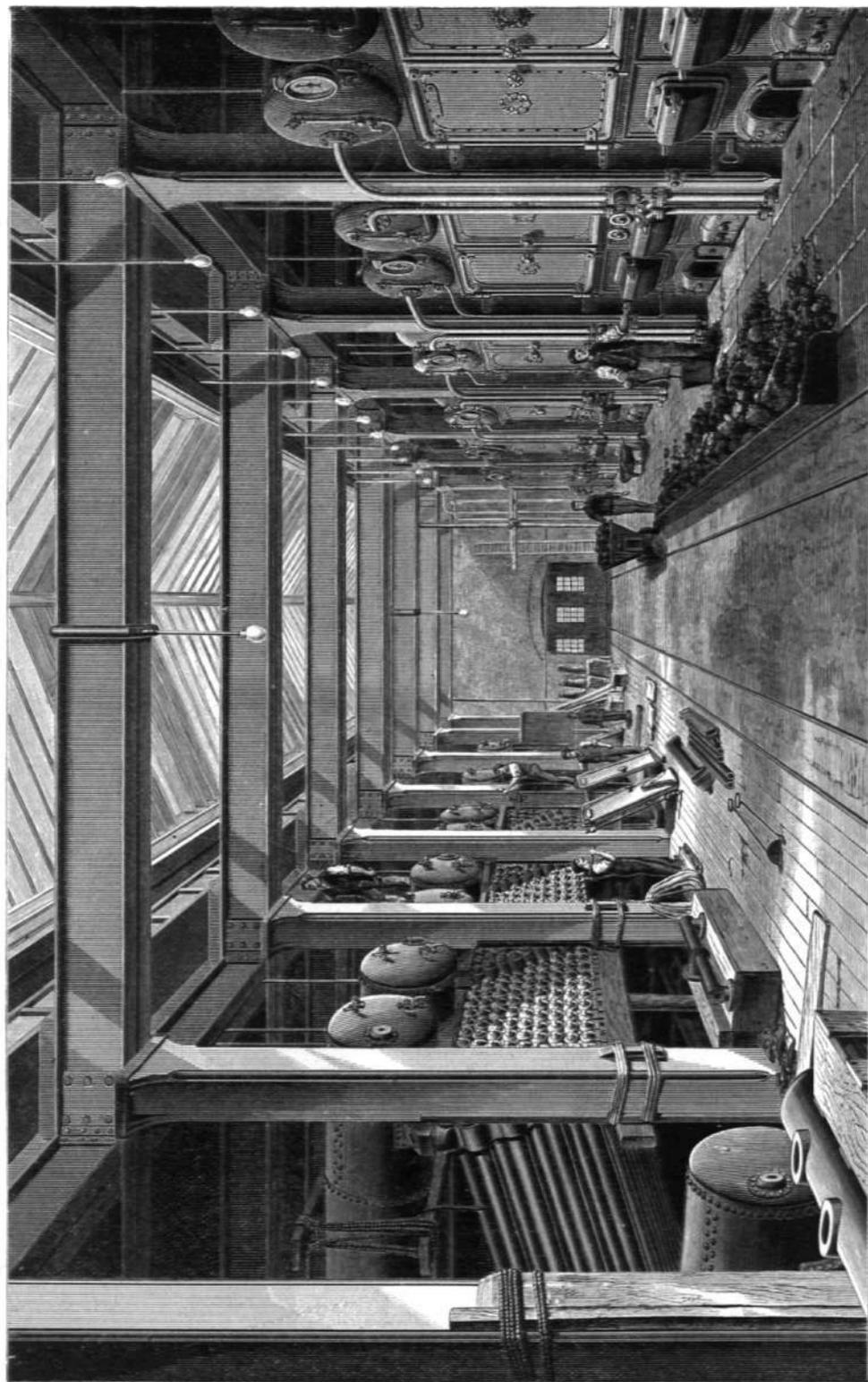


Fig. 6.

densidad de las dos columnas. Su velocidad en metros puede determinarse por la tan conocida fórmula de Torricelli $V = \sqrt{2gh}$, ó aproximadamente $V = 4.43 \sqrt{h}$, donde $h = H \left(\frac{\Delta}{\delta} - 1 \right)$. En

esta fórmula H es la altura de la columna medida desde el nivel del agua al centro del tubo sobre el hogar; Δ y δ los pesos del metro cúbico del fluido en las columnas ascendentes y descendentes. La velocidad crecerá hasta que la columna ascendente no contenga mas que vapor; pero la cantidad ó el peso del fluido en circulación, igual á $S \delta v$, ó proporcional á $\sqrt{\delta(\Delta - \delta)}$, alcanzará el máximo cuando la densidad de la mezcla del vapor y agua en la columna ascendente sea la mitad de la densidad del agua en la columna descendente ó cuando $\frac{\Delta}{\delta} = 2$; entonces $V = \sqrt{2gH}$. Así ocurre próximamente cuando hay mitad vapor y mitad agua en la columna ascendente, siendo des-



Calderas Babcock y Wilcox en la Metropolitan Electric Supply Co.; Estación de Sardinia Street, Londres, 1120 m. c. instalados en 1889; 1570 m. c. en 1890.

preciable el peso del vapor en presencia del peso del agua.

Es fácil con esta regla determinar la circulación en toda caldera construida con arreglo á este principio, á condición de que la construcción sea tal que deje el movimiento libre del agua. Es evidente que cada codo es una causa que retarda la circulación, pero cuando la caldera está bien dispuesta y bien proporcionada estos retardos son de poca importancia.

Tomemos como ejemplo una de las calderas Babcock y Wilcox, de 240 caballos de fuerza, instaladas en la Universidad de Ithaca. La altura H de la columna puede ser evaluada en 1^m37 próximamente. La altura motriz será igual á H en el momento de la circulación máxima; la velocidad será de $4,43 \sqrt{1,37} = 5^m,18$ por segundo. Hay en la caldera 14 secciones; cada sección comunica con el depósito por un tubo de 102^m de diámetro exterior y de 95^m de diámetro interior, por lo cual la sección es de $0^m,0071$; de los 14 tubos resulta una sección total de $0^m,0994$, que multiplicada por la velocidad $5^m,18$, dá un volúmen de $0^m,514$ de vapor y agua mezclados, desprendido por segundo, cuya mitad, ó sea $0^m,257$ es vapor. Supongamos que el vapor esté á la presión manométrica de 7 kilogramos entonces pesará $4^k,16$ por metro cúbico y el peso del vapor desprendido por segundo será $0,257 \times 416 = 1^k,069$, ó sea por hora 3848 kilogramos. Dividamos esta última cifra por $13^k,5$, número de kilogramos de vapor que representan un caballo de fuerza, y encontramos que la caldera produce 285 caballos, ó sea cerca de 19 % más que su fuerza normal. El agua á la temperatura de $169^o,8$ correspondiente á la presión de 7 kilogramos, pesa 898 kilogramos por metro cúbico, y el vapor $4^k,16$; el vapor forma pues la 216^a parte de la mezcla, por consiguiente cada molécula de agua hace 216 circuitos antes de ser evaporada cuando la caldera trabaja á esta fuerza, que es cuando circula el peso máximo de agua por los tubos.

Es evidente que, cuando la velocidad de desagregación del fluido á la salida de los tubos, llegue á su máxima, por aquellos no se desprenderá más que vapor; y no habrá mas agua en circulación que la necesaria para reemplazar la evaporada. Vamos á ver, haciendo el mismo cálculo, qué fuerza de evaporación alcanzará entonces nuestra caldera. Por un lado tenemos una columna de vapor de 1^m37 de altura, y por el otro una columna igual de agua. Supongamos como antes que el vapor esté á la presión de 7 kilogramos, y el agua á la temperatura correspondiente ($169^o,8$); tenemos como carga una

columna de vapor de $h = 1,37 \left(\frac{\Delta}{\delta} - 1 \right) = 1,37 \times 215 = 295^m$, lo que produce una velocidad de emisión de 76^m por segundo. Esta velocidad multiplicada por la sección de salida ó desprendimiento = $0^m,0994$, y por 3600, dá la producción de vapor por hora, 27196 metros cúbicos ó en kilogramos 113135. Este peso que representa el total del fluido que ha circulado en una hora, es apenas la séptima parte del peso de la mezcla de agua y vapor en movimiento cuando la circulación es más activa; y sin embargo el vapor descargado corresponde á una fuerza de 8380 caballos, á razón de $13^k,5$ por caballo, ó sea 35 veces la fuerza normal de la caldera. Por supuesto este resultado es muy superior al que se puede obtener en la práctica, pues no debe olvidarse que no podría forzarse á la caldera hasta el punto en que la circulación del agua deja de ser efectiva. Por el mismo procedimiento de cálculo podemos darnos cuenta, de que cuando la caldera produzca una fuerza doble de su potencia normal, caso raro en la práctica, el vapor constituye cerca de las dos terceras partes del volúmen de la mezcla de agua y vapor descargada en el depósito, y que el agua hará 110 circuitos durante su evaporación. Además si solamente funciona la caldera á un cuarto de su fuerza normal el vapor no forma más que la quinta parte de la mezcla, y el agua debe hacer 870 circuitos antes de ser convertida en vapor. Por lo que precede se puede ver que la caldera en cuestión ha sido proporcionada de manera que asegure una circulación perfecta bajo todas las condiciones posibles en la práctica.

Al proyectar una caldera de este tipo, es necesario guardarse bien de adoptar como columna ascendente, comun á una serie de tubos superpuestos, un colector demasiado

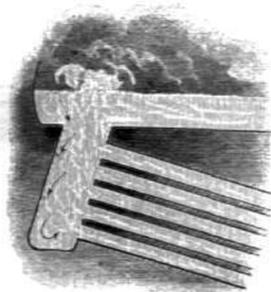
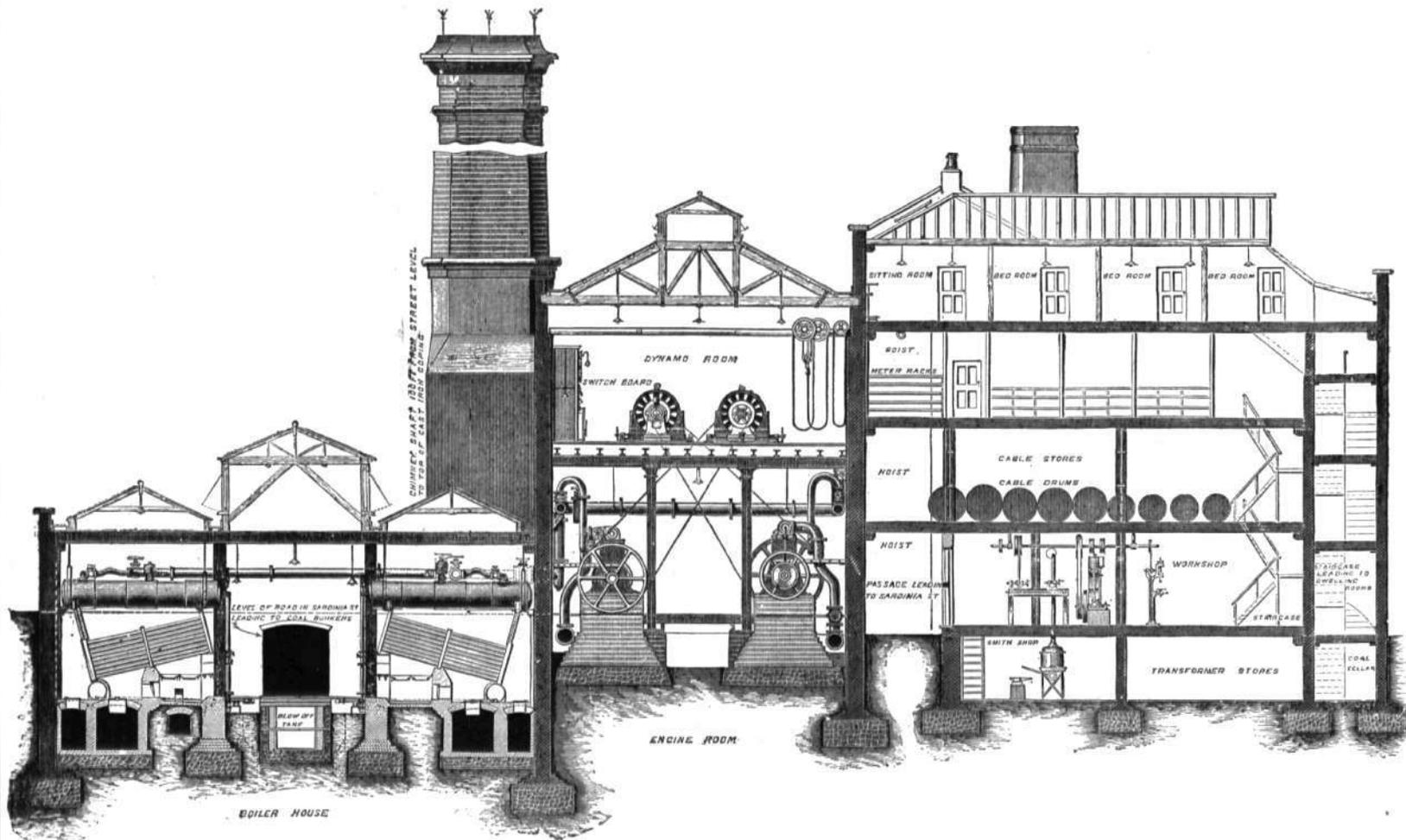


Fig. 7.

ancho; pues si su anchura fuese mucha en él se produciría una corriente descendente, y el efecto de la columna ascendente para operar la circulación sería completamente nulo (Fig. 7).



Corte general de la instalación de alumbrado eléctrico de la Metropolitan Electric Supply Co.; Estación de Sardinia Street, Lincoln's Inn Fields Londres.

Este hecho se vé bien claro con el simple exámen de lo que pasaria en un colector muy ancho, caso en donde ocurre que el avance que produce la circulación es únicamente el que resulta de la inclinación de cada tubo tomado separadamente. Esta objeción solamente se vence cuando el conducto es tan pequeño que la corriente ascendente de agua y vapor, lo llena por completo. Tambien es necesario que este conducto sea lo mas recto posible y que no presente los estrechamientos y ensanches numerosos que muchas veces se encuentran. Tomemos, por ejemplo, una caldera bien conocida en Europa, y vendida en América bajo otro nombre. Se compone de tubos inclinados, reunidos dos á dos en sus extremidades por medio de cajas de fundición. Estas cajas se comunican una con otra por medio de un codo, cuyos brazos entran en las cajas precisamente en frente de los tubos. Estas cajas y los codos forman un conducto ascendente irregular por el cual la mezcla de agua y vapor subirá á un depósito superior. Pero se vé (Fig. 8) que la

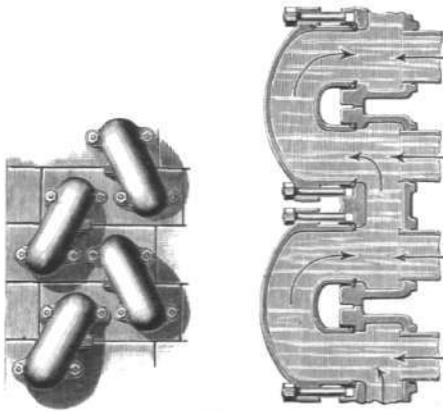


Fig. 8.

corriente ascendente de vapor y agua que circula por los codos viene á su salida á chocar contra la corriente ascendente del tubo colocado en la misma caja. Un choque así constituye un obstáculo sério á la circulación. Dando esto por resultado, que si las dos corrientes tienen la misma velocidad, se neutralizan por completo y cesa la circulación; y si la una es mas fuerte, esta repele á la otra, obteniéndose el mismo fin práctico.

El inventor de una de estas calderas que en otros tiempos se vendieron mucho en América, pero que hoy día ya no se construyen y que ha visto vender como hierro viejo la mayor parte de las que habia montado, anunció como reclamo que en su caldera los codos y las contracciones

de sección tenían por objeto "disminuir la circulación," y sin duda alguna cumplían este fin; pero no obstante lo estrechos que eran los conductos, no se conseguía tan eficazmente aquel objeto como con la disposición que se vé en la Fig. 8.

Otro tipo de caldera, inventada primeramente por Clarke ó por Crawford, y recientemente explotada de nuevo, tiene tambien conductos ascendentes formados por cajas, de las cuales salen un cierto número de tubos, dos ó cuatro. Las cajas estan reunidas entre sí por medio de pequeñas piezas anulares (Fig. 9). Se sabe que

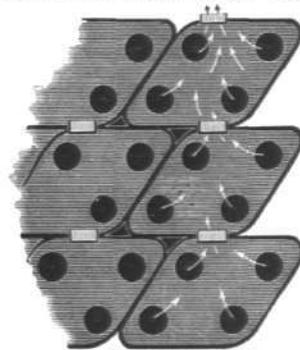


Fig. 9.

cuando un fluido corre por un conducto que de trecho en trecho se ensancha y se estrecha, la velocidad disminuye más ó menos en cada ensanche, y debe recobrar su valor en cada estrechamiento del conducto. A cada cambio de régimen corresponde una pérdida de carga. Tal ocurre con la construcción representada por la figura 9. Los cambios de régimen sucesivos ocasionan pérdidas que concluyen por gastar la fuerza motriz é impedir la circulación del agua.

En un tubo cerrado por un extremo y fijado horizontalmente por el otro á la pared de una caldera, como se vé en la figura 10, no puede

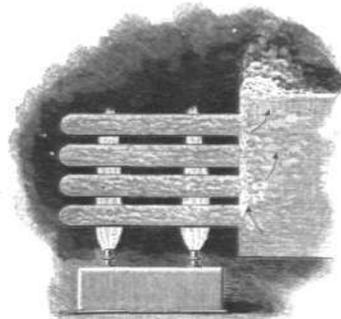
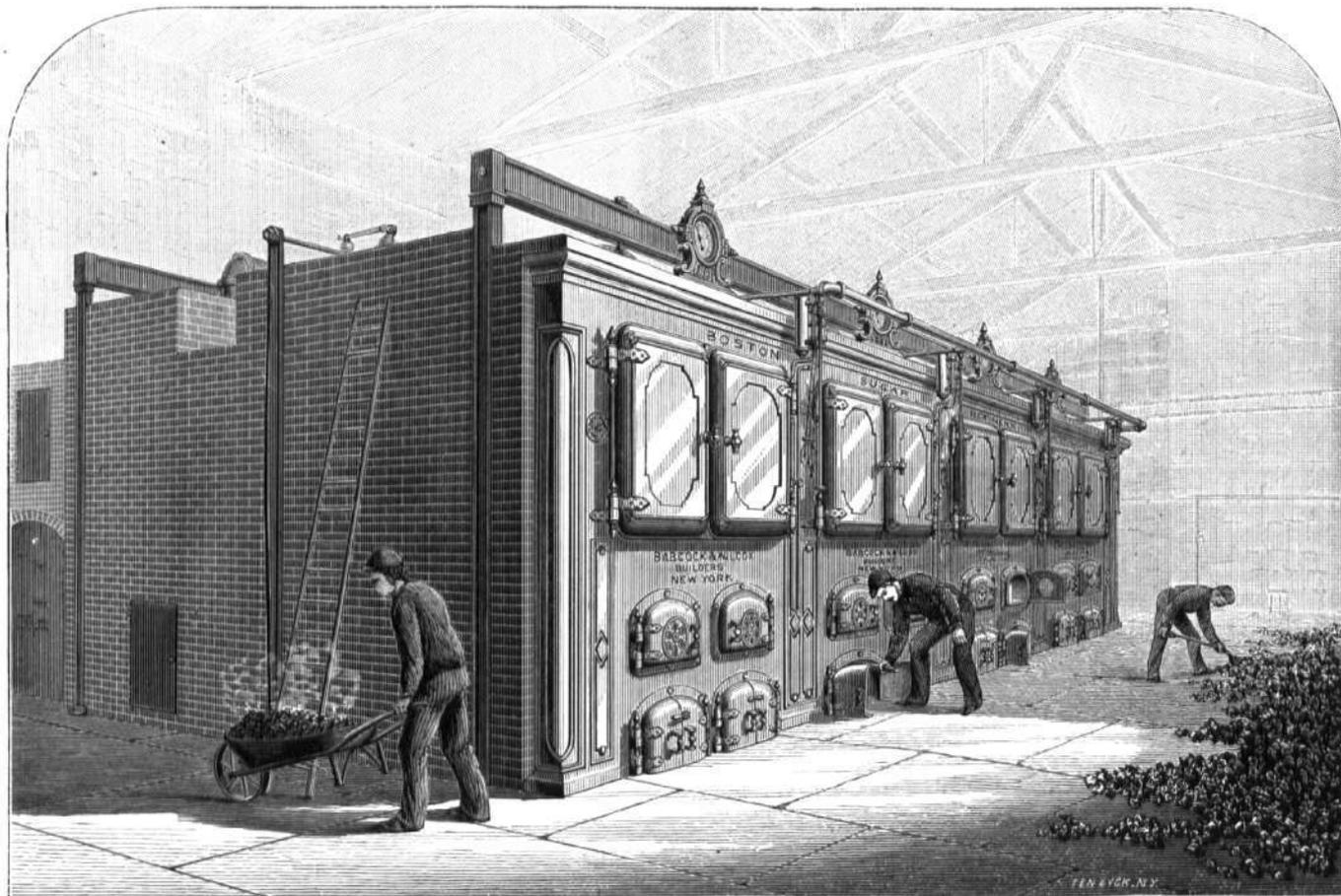


Fig. 10.

haber una circulación regular. Si la calefacción es moderada, el agua puede todavia contrabalancear la acción del vapor que se forma, y

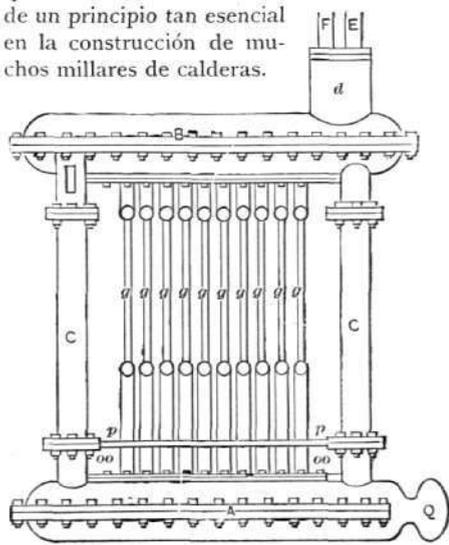


*Calderas Babcock y Wilcox, en la Refinería de azúcar de Boston, Mass.,
Cuatro calderas de 1070 m. c. de superficie de calefacción, instaladas en una sola batería en 1880.*

mojar las superficies, pero si la intensidad del fuego aumenta, por poco que sea, se reproducirá la acción que hemos visto cuando calentamos una probeta (Fig. 3); y cuantos más tubos semejantes haya en una caldera, tanto mas violenta será la separación espasmódica del vapor.

El experimento con el vaso abierto de la figura 2, nos dá la clave de las mejores disposiciones propias para aumentar la circulación en las calderas ordinarias de hogar interior. Los tubos de circulación colocados en los tubos del hogar como en las calderas Steenstrup, Martin, ó Galloway, pueden dirigir y ayudar la circulación, pero aún con ellos, es casi imposible determinar una corriente general, que arrastre toda la masa de agua, y llegue á todas partes de la caldera, como ocurre en una caldera de tubos de agua bien comprendida.

Como ya hemos hecho notar, los Ingenieros encargados de estudiar y proyectar las calderas en general se han preocupado muy poco de la circulación del agua, cuyas ventajas parecen ignorar. Esta omisión siempre perjudicial á la persona que utiliza la caldera, tiene además el inconveniente gravísimo de poner en peligro muchas veces la vida de los que las cuidan. Son de notar, el caso del "Montana," y de otro vapor igual, en los cuales se han gastado en ensayos y experimentos más de 1,500,000 francos, gasto que una aplicación prudente del principio de la circulación hubiera permitido evitar. Nadie puede calcular el número de vidas humanas, y el total de gastos que ha ocasionado el olvido de un principio tan esencial en la construcción de muchos millares de calderas.



Joseph Eve, 1825.



Stevens, 1805.

BREVE HISTORIA DE LAS CALDERAS DE TUBOS DE AGUA. (*)

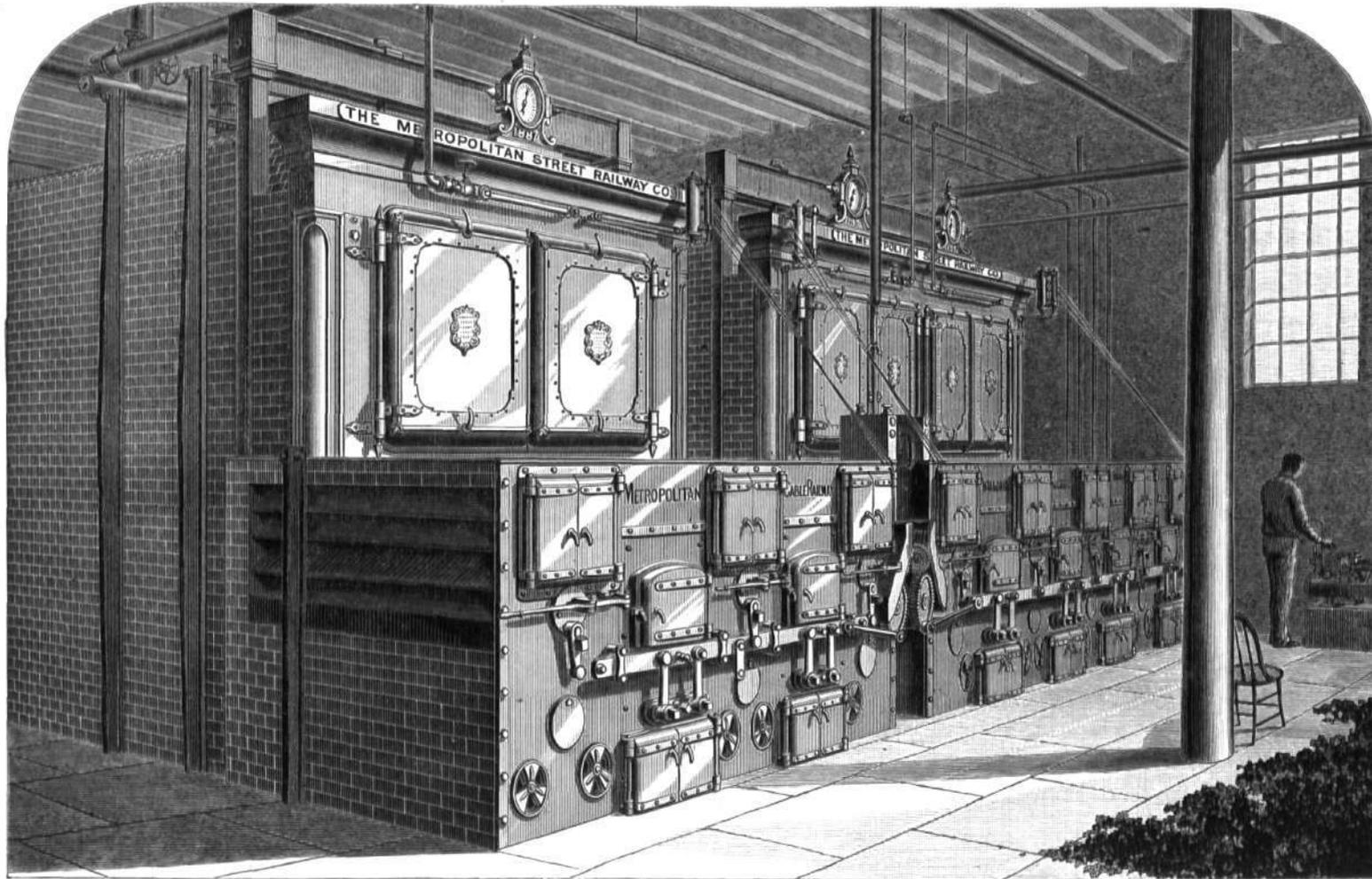
Las calderas con tubos de agua no son nuevas. Desde los primeros tiempos de la máquina de vapor, los Ingenieros señalaron las ventajas de este sistema. La primera caldera de tubos de agua que se recuerda, fué construida en 1766 por un contemporáneo de Watt, William Blakey. Se componía de un cierto número de tubos inclinados alternativamente en sentidos contrarios y unidos entre sí en sus extremos por medio de otros tubos más pequeños. Pero la primera tentativa de este género que tuvo

algun éxito fué la de James Rumsay, inventor americano, ya célebre por sus descubrimientos en la navegación por buques de vapor y á quien se puede considerar sin temor de equivocarse como el inventor de la caldera de tubos de agua tal como es conocida hoy día. En 1788 adquirió patente en Inglaterra, para varias clases de calderas.

En una de ellas, el cielo y los costados del hogar estaban rodeados, por la cámara de agua, la cual tenía las paredes planas y comunicaban por medio de tubos horizontales dispuestos directamente á la radiación. En otras, el hogar era cilíndrico, estaba también rodeado por la cámara de agua y dentro un tubo en espiral ponía en comunicación las partes superior é inferior de la cámara de agua. Este fué el primer ensayo de las calderas de serpentin. Un tercer tipo comprendido en la misma patente era la caldera tubular vertical, tal como se construye hoy día.

La primera caldera hecha con una combinación de tubos pequeños y que comunicaban

(*) Véase la discusión sostenida por el Sr. G. H. Babcock apropósito de la memoria del Sr. Sterling sobre las calderas con tubos de agua y las calderas de cuerpo cilíndrico, en las "Transacciones Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos." Vol. VI. pag. 601.



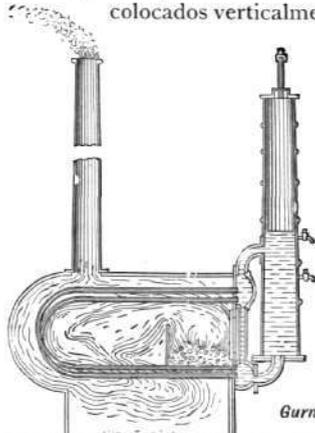
Calderas Babcock y Wilcox con hornos Murphy, instaladas en 1886-87, en la Estación de la Metropolitan Street Railway Co.; calle 12ª, Kansas (Missouri).

por uno de sus extremos con un depósito, fué invención de otro americano John Cox Stevens en 1805.

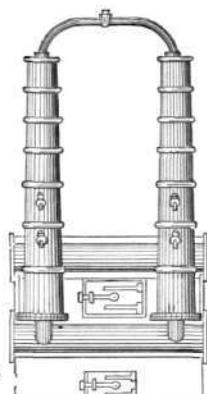
Esta caldera fué colocada en un vapor que navegaba en el Rio Hudson, pero lo mismo que todas las calderas "herisson," (Erizo) de las cuales fué la primera, no tenia los elementos de éxito duradero.

Por el mismo tiempo, Wolf, el inventor de la máquina compound, construyó una caldera, compuesta de grandes tubos horizontales puestos al través del hogar y comunicando por sus extremos con un depósito longitudinal colocado en lo alto.

La primera caldera de tubos de agua propiamente llamada de sección, fué construida por Julius Griffith, en 1821, quien dispuso una serie de tubos de agua horizontales, unidos por sus extremos á tubos laterales

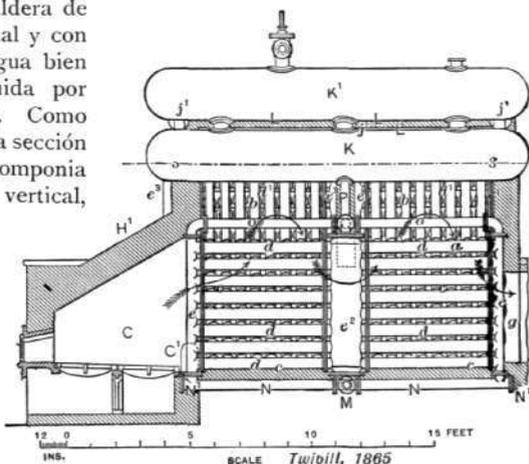


Gurney, 1826.



colocados verticalmente y que á su vez comunicaban con otros tubos horizontales que estaban en comunicación con el depósito del vapor.

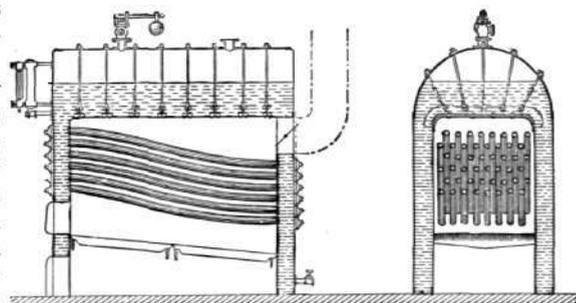
Pero la primera caldera de tubos de agua seccional y con una circulación de agua bien definida, fué construida por Joseph Eve, en 1825. Como se vé en la figura, cada sección de dicha caldera se componia de un pequeño tubo vertical, pero ligeramente ondulado unido á dos colectores horizontales uno superior, otro inferior, los cuales á su vez comunicaban, los superiores con la cámara de vapor y los inferiores con la cámara de agua. Ambas cámaras estaban formadas por un tubo de mayor diámetro, y enlazadas



SCALE Twibill, 1865

entre sí por tubos exteriores, para asegurar la circulación del agua ascendente por las secciones y descendente por los tubos exteriores. El mismo año John M'Curdy, de Nueva York,

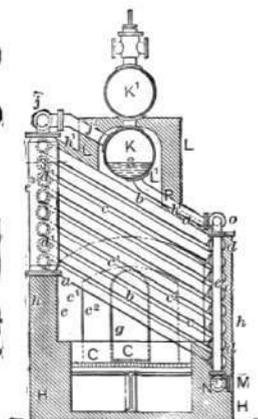
construyó un generador que llamó "Duplex Steam Generator"; estaba formado de tubos de hierro fundido, ó forjado, ó de otro metal, colocados en varias hileras en sentido horizontal, reunidos entre sí alternativamente por delante y por detrás por codos. En 1826, Goldsworthy Gurney construyó un cierto número de calderas, para aplicarlas á sus carruages movidos por el vapor; consistian en una serie de tubos pequeños curvados en forma de U colocados de canto, cuyos extremos comunicaban con grandes tubos horizontales.



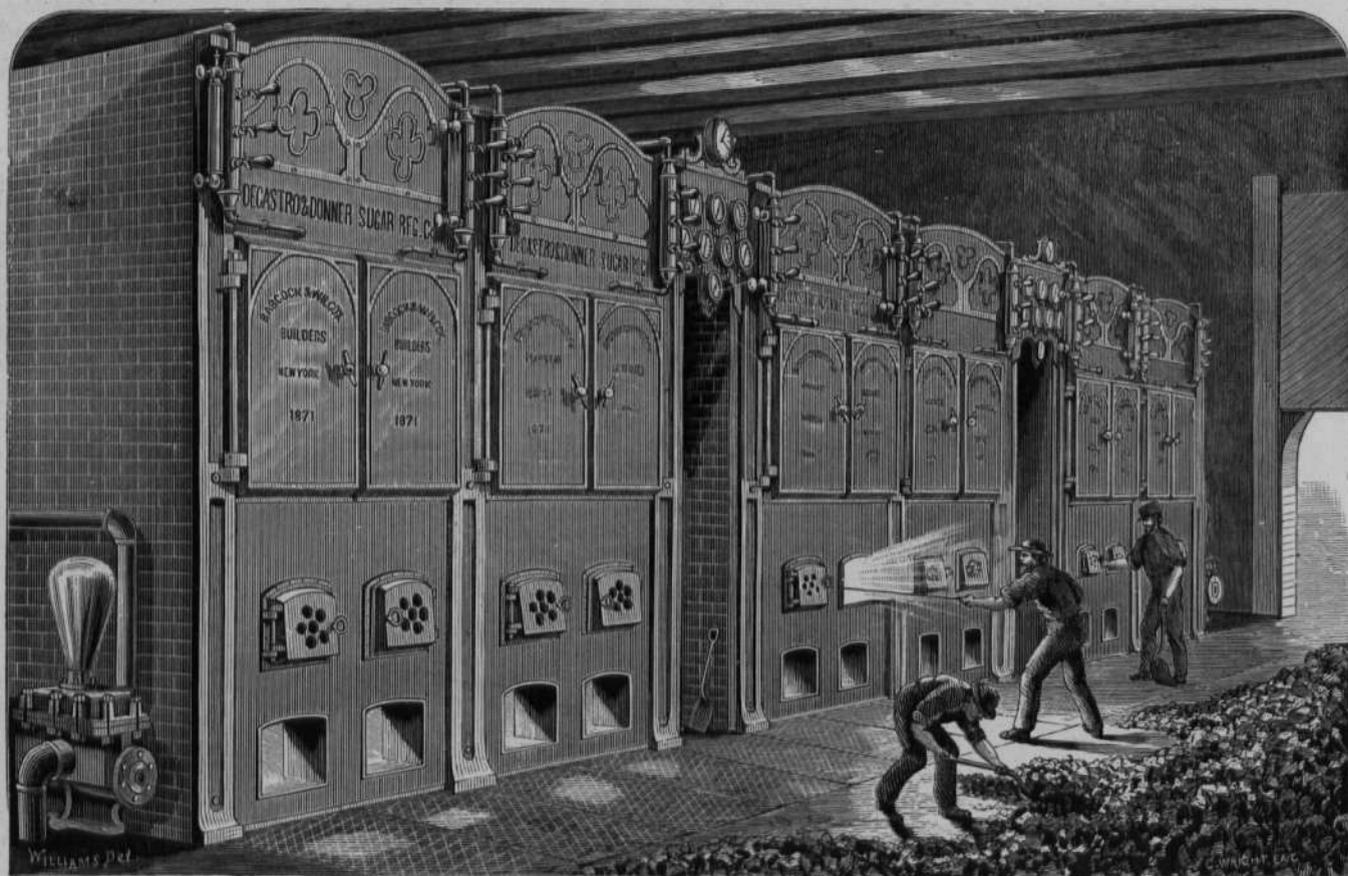
Wilcox, 1856.

Estos últimos estaban empalmados con tubos verticales para asegurar la circulación y comunicaban tambien con un cilindro vertical que servia á la vez de cámara de agua y de vapor.

En 1828, Paul Steenstrup construyó la primera caldera cilíndrica, con tubos de agua



En 1828, Paul Steenstrup construyó la primera caldera cilíndrica, con tubos de agua



*Calderas Babcock y Wilcox, en la Refinería de azúcar de De Castro y Donner, calle 9ª, Brooklyn, N.Y.
Las primeras calderas de 960 m. c. de superficie de calefacción instaladas en 1871; en frente de estas han sido instaladas las siguientes; 160 m. c. en 1877;
320 m. c. en 1881; 412 m. c. en 1888, en total: 1852 m. c.*

verticales á través de los fluses, semejante á la que es conocida hoy día con el nombre de caldera "Martin," y que recuerda á la "Galloway."

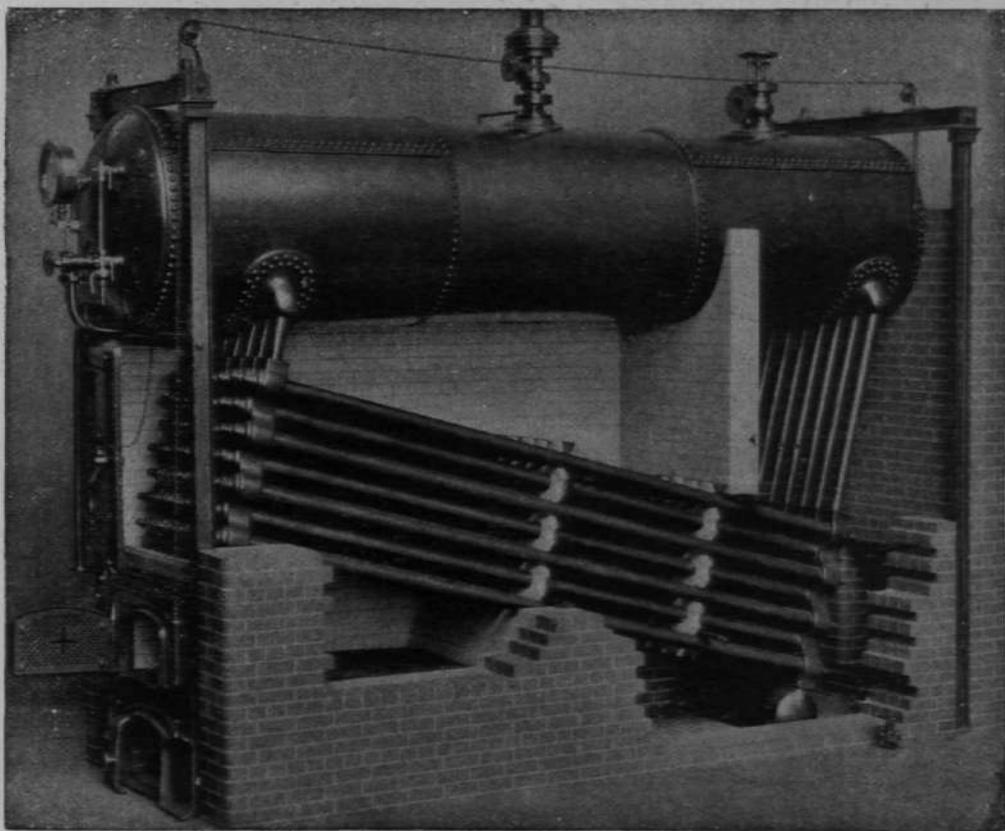
La primera caldera de tubos de agua, llevando en el interior de estos los tubos de humo, fué construida en 1830 por Summers y Ogle. Estaba compuesta de series de tubos de agua verticales, dentro de los cuales habia tubos de humo concéntricos, y comunicando por los dos extremos con colectores horizontales igualmente atravesados por los tubos de humo. Las juntas se hacian por medio de pernos siendo por consiguiente desmontables como ocurre con algunas patentes recientes.

La primera persona que usó tubos de agua inclinados que enlazaban entre sí dos cámaras de agua, una situada en la parte anterior y otra en la posterior y que tenian en su parte superior un depósito de vapor; fué Stephen Wilcox, en 1856, y el primero en disponer dichos tubos inclinados, por secciones, fué un tal Twibill, en 1865. Empleó tubos de hierro forjado, reunidos delante y detrás, con columnas verticales, las cuales conducian el vapor á un depósito superior

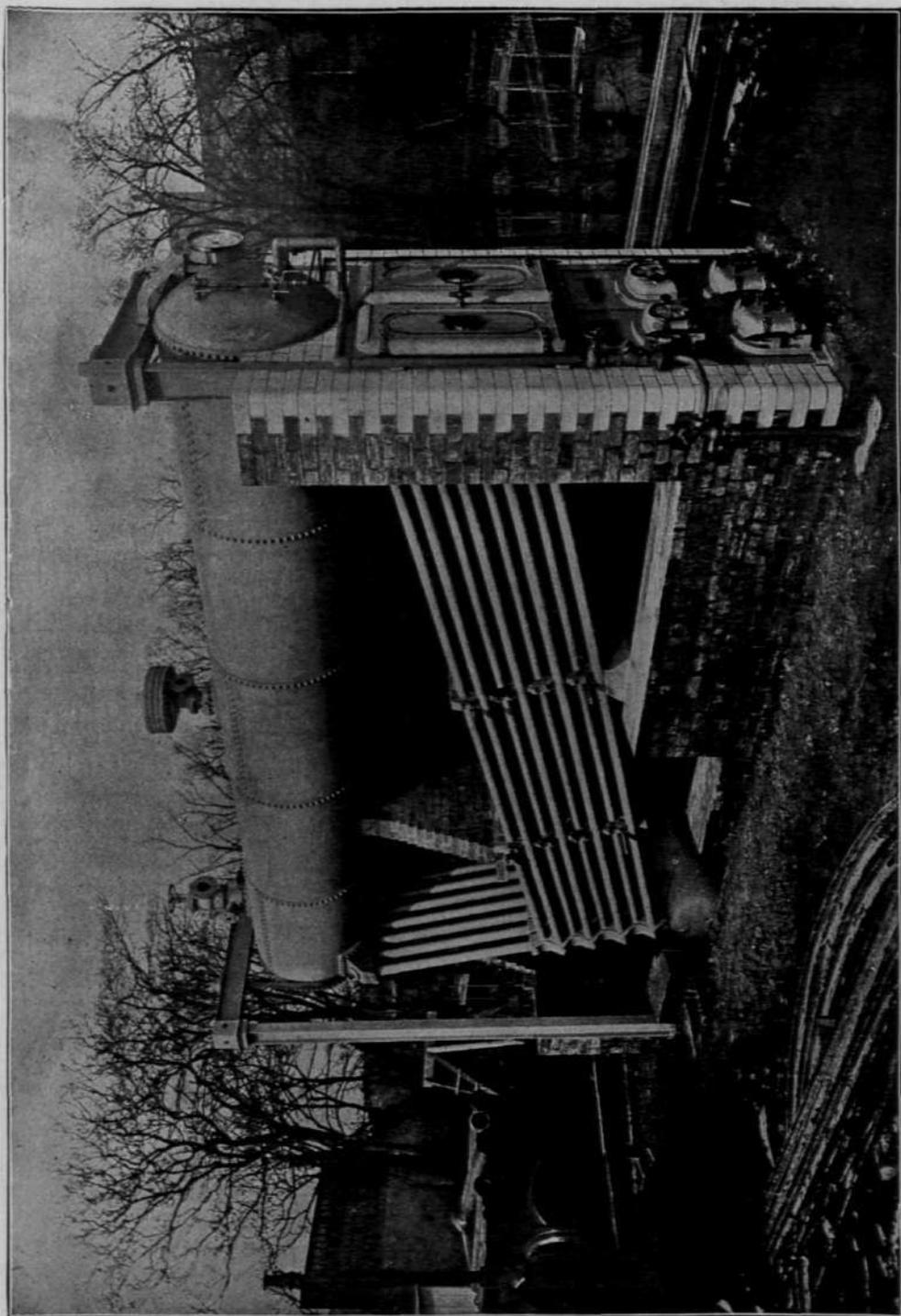
dispuesto transversalmente, el agua arrastrada por el vapor volvia á descender por la parte de atras y así se establecia la circulación regular.

Nos faltaria tiempo si tuviésemos que hablar de Clark, Perkins, Moore (Inglés), McDowell, Alban, Craddock y tantos otros que han tratado de construir calderas de tubos de agua y que no han logrado éxito desde el punto de vista práctico á causa de las dificultades del problema.

Si se quiere saber porque las calderas de tubos de agua no son de uso mas general, comparadas con las de un solo cuerpo cilíndrico, diremos que en razón á que la construcción de aquellas necesita un estudio muy detenido y una ejecución muy esmerada para que den provechosos resultados. Las calderas ordinarias son por el contrario fáciles de hacer. No se necesita una gran sabiduria para dar una forma cilíndrica á unas planchas de hierro, juntarlas por medio de remaches, construir un hogar debajo, y á este conjunto darle el nombre de caldera; porque es tan fácil, y cualquiera puede hacer tales calderas porque no necesitan conocimientos especiales de ingeniería se han



Modelo en pequeño de la Caldera Babcock y Wilcox, expuesta en el Conservatorio de Artes y Manufacturas de Paris.



Caldera Babcock y Wilcox en la Exposición de Glasgow, 1888. Tipo "W.J.F." con colectores de hierro forjado.

construido y todavía construyen gran número de ellas. Las calderas de tubos de agua, al contrario, exigen del constructor mucho conocimiento, habilidad y experiencia para que den un resultado satisfactorio. Por ello la lista de los que han querido abordar esta cuestión y que han fracasado por no tener los conocimientos necesarios es muy larga y cada día lo es aún más.

La caldera multitubular Babcock y Wilcox, tiene por punto de partida la de Stephen Wilcox, que obtuvo patente en 1856, así pues puede decirse que su origen data de aquella fecha, aunque el primer privilegio no se obtuvo hasta 11 años más tarde. El Doctor Alban sentó el axioma siguiente: "Todas las calderas deben estar construidas de manera que su explosión no sea peligrosa," y Harrison construyó calderas que satisfacían esta condición, compuestas de globos de hierro fundido; pero la caldera Babcock y Wilcox, de 1867, fué la primera en que se reunió á la construcción por secciones, una circulación grande y libre que pone toda la masa de agua en movimiento regular y continuo. Esta construcción conocida en todas partes del mundo por el sistema Babcock y Wilcox, es hoy día reputada universalmente como la mejor, entre todas las calderas, en cuanto á seguridad, economía y duración.

DESARROLLO PROGRESIVO DE LA CALDERA DE TUBOS DE AGUA BABCOCK Y WILCOX.

En materia de invenciones la historia de los fiascos enseña tanto como la de los éxitos alcanzados. En efecto, cuando una cosa ha sido después de bien probada encontrada impracticable, ó imperfecta, el conocimiento de dichas pruebas forma como un faro para que los que siguen no choquen en el mismo escollo. Diariamente ocurre que después de varios ensayos más ó menos desgraciados, ciertos sistemas, ya abandonados, son resucitados y explotados por otros, como si fuesen resultado de perfeccionamientos en algunos detalles sobre cosas que habían probado ya su superioridad en la práctica con solo haber sobrevivido á los demás. Sucede muchas veces que cuando una persona ó una sociedad, ha llegado, á consecuencia de experi-

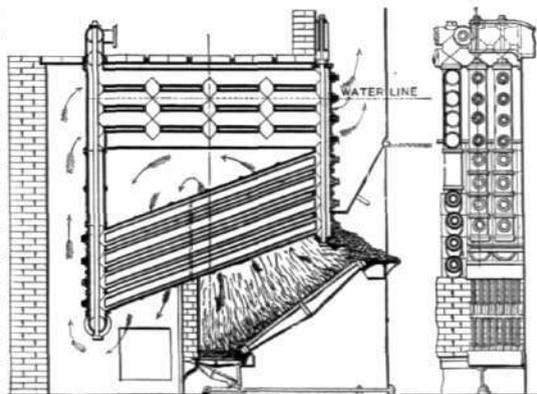
mentos numerosos, y muchas veces muy costosos, á un resultado importante y perseguido por mucho tiempo, acertando fundar un negocio que promete indemnizarles de sus trabajos y gastos; que entonces cierta clase de gentes, que desean recoger donde no han sembrado, se introducen en el mercado con algo semejante, generalmente, con alguna idea ya desechada por los primeros, pretendiendo que es un perfeccionamiento, y de este modo intentan seducir á los consumidores, quienes al fin se encuentran con que han gastado su dinero sin ningún provecho. Y á consecuencia de esto mismo ocurre frecuentemente que algunos fabricantes que han sido engañados por los descabellados proyectos de algún inventor novicio, desechan sin justificación todo el sistema y resuelven atenerse solo á los sistemas que empleaban sus antepasados.

El éxito de la caldera Babcock y Wilcox es debido á 23 años de estudio constante, de investigaciones y de aplicaciones prácticas, todos proseguidos en una misma dirección. Durante este largo periodo se han probado varias disposiciones que se han reconocido como poco prácticas, la Compañía ha visto cerca de cincuenta tipos diferentes de calderas de tubos de agua, por secciones, que se han presentado en el mercado, por otros constructores, y que han todos desaparecido hoy ó están próximos á desaparecer, sin dejar mas que un recuerdo vago, duradero solo en la memoria de sus víctimas.

Precisamente con objeto de prevenir á nuestros clientes y amigos contra estos llamados perfeccionamientos, evitándoles los disgustos que no dejarían de encontrar pronto, nos hemos decidido á publicar esta historia y los planos de los diversos tipos que nosotros hemos tenido que experimentar antes de llegar al sistema, hoy esparcido por todo el mundo, y cuyo mérito se evidencia por el hecho de que los clientes que lo experimentan, vuelven á adquirirlo y no quieren emplear otros.

Todos los tipos representados por los dibujos y otros muchos, son aquellos para los cuales la Compañía Babcock y Wilcox ha obtenido patente de invención.

Nº 1.—Caldera primitiva de Babcock y Wilcox, con patente de 1867. La idea dominante fué obtener la seguridad, á la cual se



Nº 1.

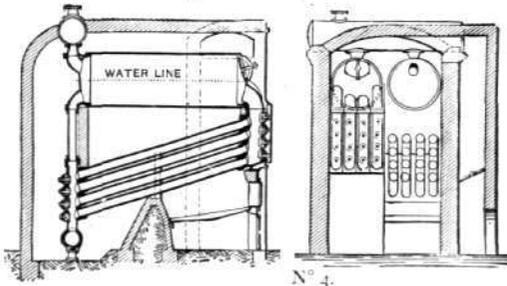
sacrificaron las demás consideraciones. La caldera se componía de un haz de tubos horizontales, que hacían las veces de depósito de agua y vapor, colocados en la parte superior y unidos en sus extremos por medio de uniones con tornillos á una serie de tubos inclinados llenos de agua. En el interior de estos últimos había otros tubos concéntricos de menor diámetro á fin de facilitar la circulación. Los tubos estaban colocados uno encima del otro en filas verticales, cada fila ó serie formando con las conexiones extremas una sola pieza de fundición. Enfrente de cada tubo había un agujero de mano para la limpieza.

Nº 2.—Se reconoció bien pronto que los tubos interiores entorpecían más que facilitaban la circulación y se suprimieron.

Los Nºs 1 y 2 se vió que eran defectuosos tanto en el conjunto como en el material empleado, el hierro fundido no conviene como superficie de calefacción expuesta directamente á la acción del fuego, porque se quiebra en cuanto se cubre de incrustaciones.

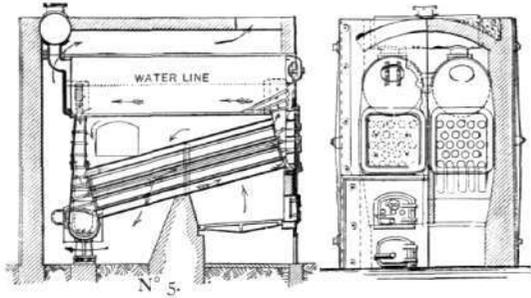
Nº 3.—Los tubos de hierro fundido fueron sustituidos por otros de hierro forjado. Para hacer la unión de los tubos con las cajas de comunicación, que eran de fundición, se recortaban con cuidado sus extremidades y después de haberlos colocado en sus posiciones respectivas, se fundían con ellos las dichas cajas de comunicación.

Las cámaras de agua y vapor se encontraron insuficientes para asegurar la regularidad de la marcha, no habiendo suficiente reserva para cuando hubiera mala alimentación ó mal fuego. La tentativa de secar el vapor húmedo, por medio de recalentamiento en el haz superior de tubos que formaban el llamado depósito de vapor, se encontró impracticable, pues según el gasto así se encontraba que el vapor suministrado era ó seco, húmedo, ó recalentado. En fin, se observó que se formaban depósitos en la parte más baja de la caldera, donde determinaban la rotura del hierro fundido expuesto á la acción de la llama.

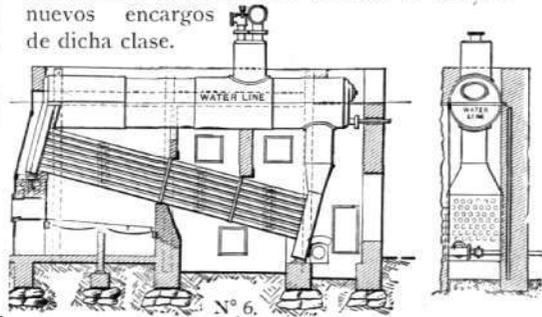


Nº 4.—Se sustituyó el haz de tubos recalentados de la parte superior, por un depósito cilíndrico,

con el nivel de agua á la altura del eje. Las secciones verticales eran construidas como en el modelo Nº 3 y se colocó un depósito de sedimentos en el extremo posterior de las secciones, en la parte más baja y más apartada del fuego; se aseguraba la sequedad del vapor por el aumento del plano de agua, la regularidad por el de la cámara de vapor. Con la introducción de un cuerpo cilíndrico se perdió un poco, en realidad, en cuanto á seguridad, pero por otra parte resultó un tipo útil y práctico; además el depósito no estaba expuesto á la acción directa del fuego. Pero se presentaron dificultades, siempre, al hacer las uniones de los tubos de hierro forjado con los colectores de hierro fundido.



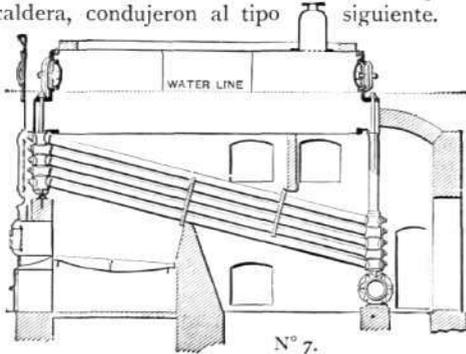
Nº 5.—A las piezas ó secciones de hierro fundido que enlazaban entre sí los tubos de las diversas secciones verticales, se las sustituyó por dos cajones de hierro forjado. La disposición de los tubos en zig-zag, que fué la empleada, se encontró más eficaz y económica que la simple superposición. En todos los demás conceptos era una construcción semejante á la Nº 4, pero había perdido un gran elemento de seguridad, la construcción por secciones, y se había introducido un peligro, el que resulta del empleo de grandes superficies planas atirantadas. Se hizo una gran instalación de dichas calderas en la Refinería de Azúcar de Calvert, Baltimore, funcionaron á satisfacción pero no se hicieron nuevos encargos de dicha clase.



Nº 6.—Es una modificación del Nº 5, del cual se diferencia por tener los tubos más largos á fin de obtener tres circulaciones de los gases por los

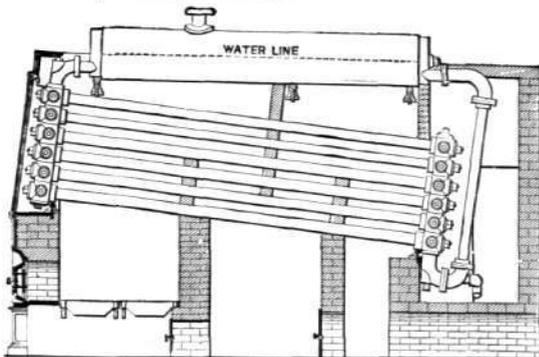


tubos y conseguir una mayor economía. Se suprimieron algunas de las superficies atirantadas, y se sustituyeron por agujeros de mano las grandes puertas. Se construyeron de este modelo gran número de calderas, pero su coste elevado, la poca resistencia de las uniones bajo las diversas variaciones de temperatura, la dificultad de transporte y de montaje, unido al gasto considerable en obra de albañilería, para una instalación de alguna importancia, y en fin los reclamos de algunos fabricantes que pretendían tener medios de aumentar la fuerza de cualquiera caldera, condujeron al tipo siguiente.



Nº 7.

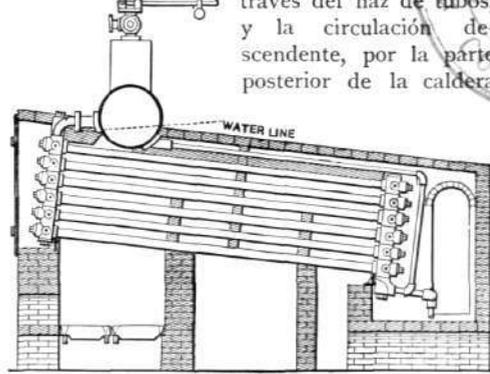
Nº 7.—Se atornillaron unas cajas de hierro fundido en forma de T á cada uno de los extremos de los tubos; las superficies esmeriladas, las T estaban superpuestas, metal contra metal, y se unieron por medio de tornillos largos que enfilaban todas las cabezas de cada lado de una serie vertical para terminarse en las cajas de unión con el depósito cilíndrico superior. Se construyeron muchas calderas de este sistema, de las cuales hay varias que funcionan todavía despues de dieciseis á veinte años de trabajo, si bien la mayoría de ellas se han transformado segun los últimos perfeccionamientos.



Nº 8.

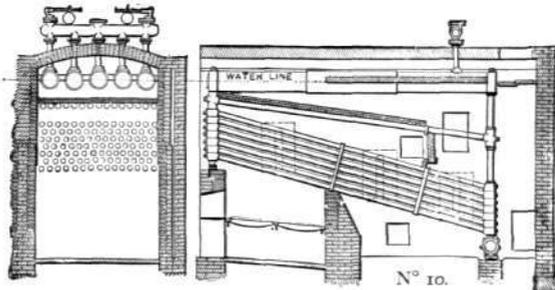
Nºs 8 y 9.—Conocidas al principio bajo el nombre de calderas Griffith y Wundrum fueron

reunidas un poco mas tarde á las Babcock y Wilcox. En estos dos tipos se trató de conseguir el que los gases pasáran cuatro veces á través del haz de tubos, y la circulación descendente, por la parte posterior de la caldera



Nº 9.

se prolongó hasta la hilera inferior de tubos. En el Nº 9 se trató de reducir la capacidad del agua y del vapor, y al mismo tiempo el coste de la caldera, aumentando siempre la seguridad. El cuerpo cilíndrico se colocó en ángulo recto á los tubos, pero se vió enseguida que era insuficiente para asegurar vapor seco ó un funcionamiento regular. En fin, dichas modificaciones no respondieron al resultado deseado.

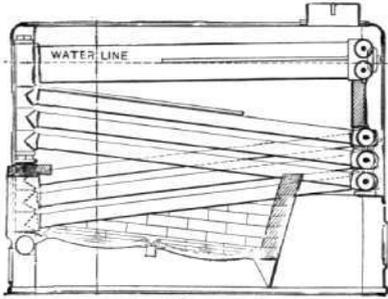


Nº 10.

Nº 10.—Representa una modificación encajinada al mismo fin. En vez de un depósito de gran diámetro se hizo uso de varios depósitos horizontales de 0,375 de diámetro y se dispuso una hilera de tubos de circulación colocados menos inclinados que los hervidores; dicha hilera de tubos ponía en comunicación continua, los extremos anterior y posterior de los tubos hervidores, á fin de que los depósitos contuviesen solo vapor sin agua. El resultado fué la obtención de un vapor sumamente húmedo, sin ninguna ventaja en el funcionamiento sobre el Nº 9. El paso de los gases cuatro veces por los tubos no aumentaba la economía.

Nº 11. Es ensayo de un sistema de serpentín en el cual el agua debia forzosamente atravesar varias veces el hornillo antes de llegar al

depósito superior. Como en todas las calderas similares, se formaba vapor en el centro del serpentín y salía el agua por los dos extremos, quedando los tubos secos en el interin que no encontraba el vapor salida y entraba el agua. Esta caldera tenía no solamente una circulación

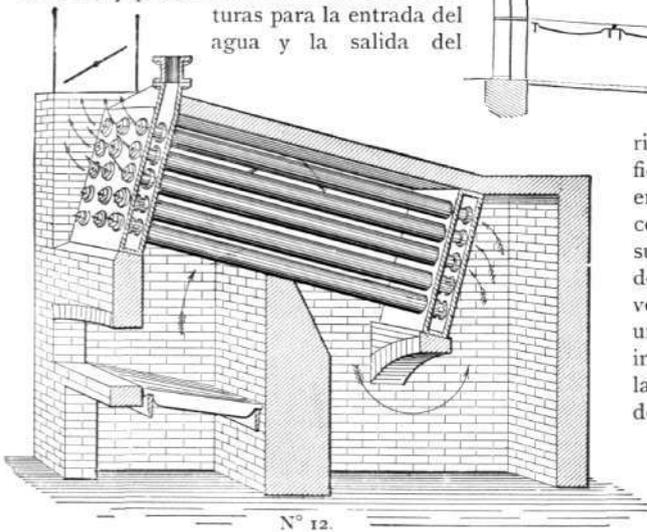


N° 11.

defectuosa, sino un funcionamiento parecido al de un geyser produciendo un vapor húmedo.

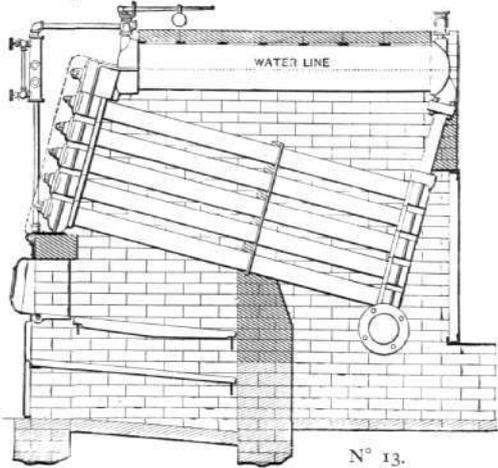
Todos los tipos que hemos descrito, á excepción de los N° 5 y 6, tenían gran número de uniones atornilladas, que á consecuencia de las dilataciones desiguales daban lugar á numerosos escapes en cuanto las superficies de calefacción se recubrían de una ligera incrustación. Como ha sido bastante el número de calderas de este tipo construidas y puestas en funcionamiento, esto ha permitido apreciar sus defectos desde este punto de vista.

N° 12.—Tentativa hecha con el fin de remediar esta última falta y de aumentar la superficie de calefacción en un espacio dado. Los tubos eran introducidos á mandril en cada una de las dos paredes de unas cajas de plancha de hierro, colocadas á sus extremidades y presentaban en el intervalo aberturas para la entrada del agua y la salida del



N° 12.

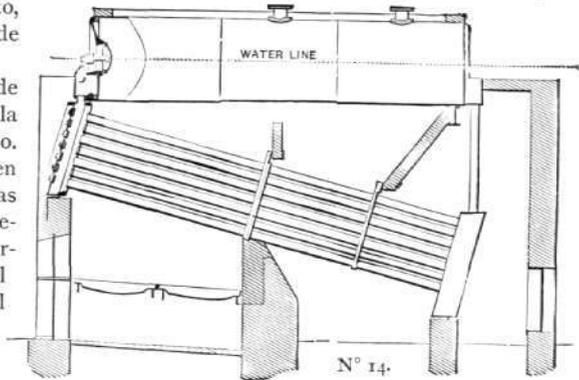
vapor. A fin de obtener mayor superficie de calefacción se dispusieron tubos de humo en el interior, pero á causa de la dificultad de efectuar la limpieza pronto se desechó este sistema.



N° 13.

N° 13.—Tiene cámaras de agua de hierro fundido de una sola pieza, y de todo lo ancho y alto del haz de tubos, reunidas al depósito superior por medio de pernos.

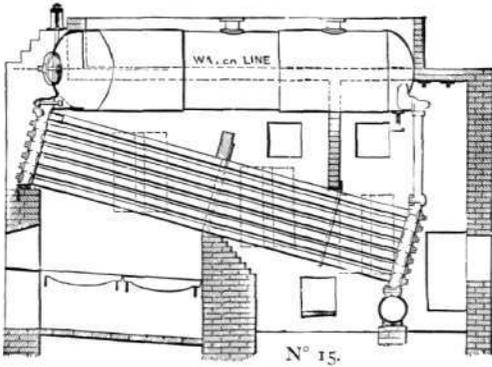
N° 14.—Se sustituyeron las cajas de hierro fundido por otras de hierro forjado reunidas por



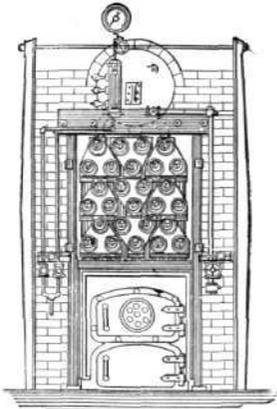
N° 14.

riostras. En este sistema, las superficies atirantadas entraban como vemos en la construcción y se encontraron como siempre los defectos de dichas superficies, las que por lo tanto deben desecharse. Tuvo sin embargo algunas ventajas sobre el N° 6. Se construyó un muro de reparación bajo el depósito, inclinado hácia atrás, á fin de dejar la mayor parte de la superficie del depósito en la primera cámara de combustión aunque sin encontrar gran ventaja, y sí, el inconveniente de la conservación de dicho muro.

Nº 15.—Se aislaba cada hilera vertical de tubos que estaba mandrinada á cada extremo en una caja única continua, construida de hierro

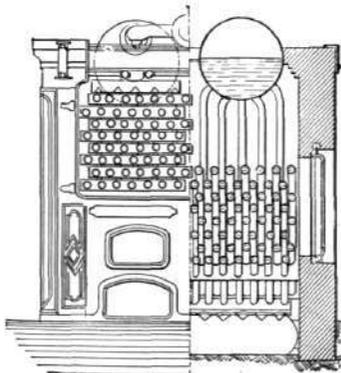


fundido. Estas cajas tenían una forma sinuosa á fin de que los tubos quedaran dispuestos en forma de zig-zag. Esta forma de cabecera se



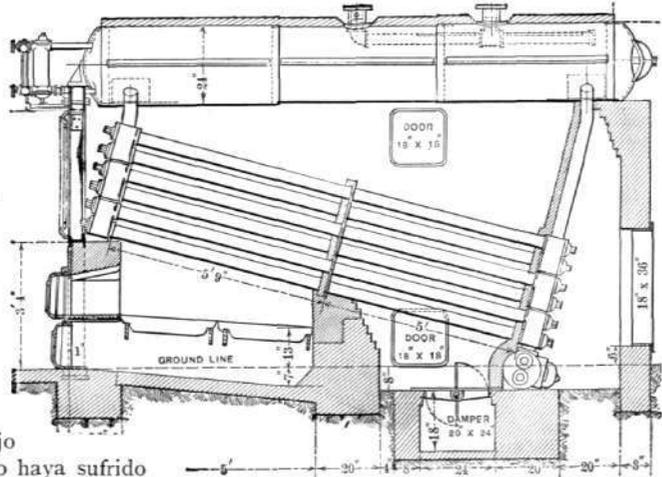
Nº 16.

ha demostrado ser la mejor bajo todos conceptos, de aquí que no haya sufrido modificación. El depósito estaba sostenido por viguetas, que á su vez descansaban sobre mampostería. Se suprimieron las uniones á tornillo á excepción de las que juntaban



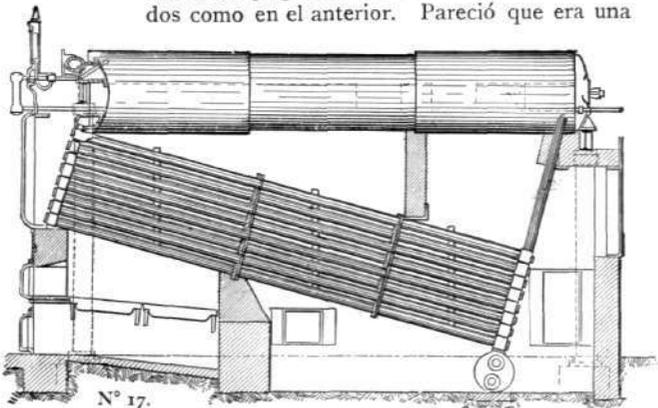
las cabeceras con el depósito y las extremidades de las cabeceras de atrás con el colector de sedimentos. Pero aún estas conexiones á tornillo se encontraron defectuosas y fueron reemplazadas por tubos cortos mandrinados en agujeros torneados.

Nº 16.—En este las cajas que hacían de cabeceras se construyeron de forma triangular y servían para tres tubos cada una. Se les dispuso alternativamente derechas é invertidas, reunidas entre sí por pequeños trozos de tubo mandrinados, y con el depósito por medio de unos tubos encorvados normalmente á la superficie cilíndrica. Las uniones entre sí de las cajas cabeceras, eran de mediana resistencia y las conexiones con el depósito eran insuficientes para facilitar una circulación eficaz.



Nº 17.—Se ensayó el empleo de colectores rectos dispuestos horizontalmente y colocados con entrantes y salientes de modo que los

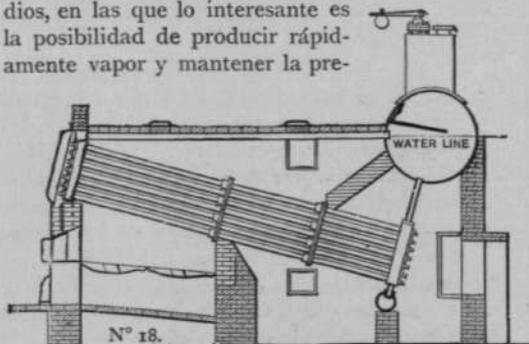
tubos formen zig-zag. Estas cabeceras estaban reunidas entre sí y con el depósito por medio de pequeños trozos de tubos mandrinados como en el anterior. Pareció que era una



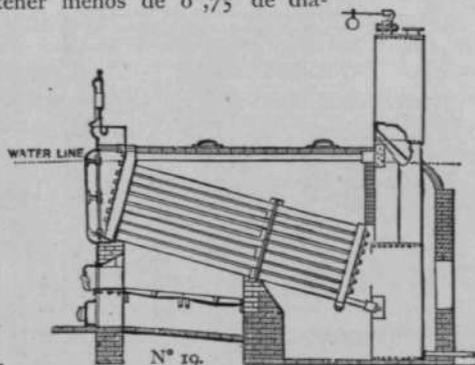
Nº 17.

construcción demasiado rígida y de circulación difícil.

N^o 18 y 19.—Se establecieron especialmente para instalaciones de protección contra incendios, en las que lo interesante es la posibilidad de producir rápidamente vapor y mantener la pre-

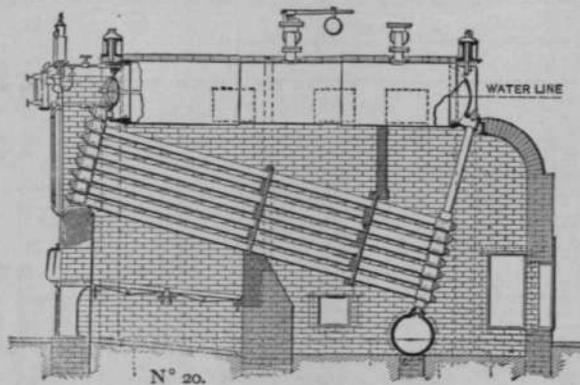


mente de la obra de fábrica, á fin de que la dilatación y contracción se efectúe libremente. 6^o. Los depósitos de agua y vapor no deben tener menos de 0^m,75 de diá-



sión ; siendo la economía de combustible y la sequedad del vapor cosas secundarias. Ambos tipos servían admirablemente para su objeto especial, pero no resultaron ni económicas ni á

metro, excepción hecha de las calderas muy pequeñas. 7^o. Todas las partes deben ser completamente accesibles para la limpieza y las reparaciones.



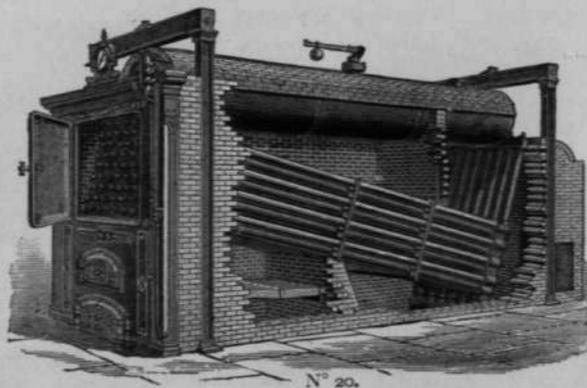
Con arreglo á los anteriores principios fueron ya construidos los tipos siguientes:

N^o 20.—En su conjunto presenta cierta analogía con el N^o 15, pero las conexiones de las secciones entre sí y con el depósito y recipiente de fango, se hicieron por medio de tubos cortos, cuyos extremos quedaban en su verdadero sitio con el auxilio de el mandril "Dudgeon." Dicha caldera estaba sostenida por medio de columnas y viguetas, enteramente independiente de la obra de fábrica, evitándose de esta manera los perjudiciales efectos de la dilatación y contracción.

proposito para donde se necesita un trabajo seguido.

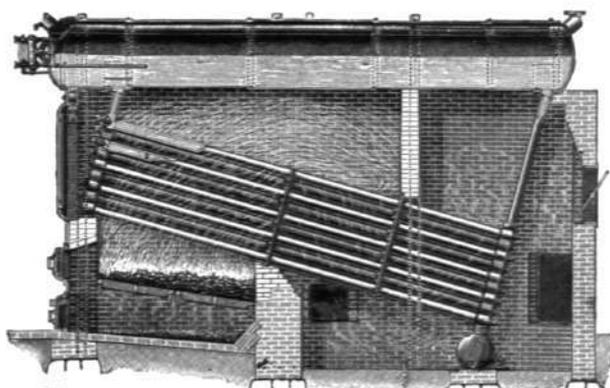
Todos estos diversos tipos no fueron, propiamente hablando, sino tipos de ensayo, aunque con arreglo á los mismos se construyeron muchas calderas. Pero tales ensayos demostraron claramente que para la mejor construcción y efecto útil, las calderas multitubulares han de ajustarse necesariamente á las siguientes condiciones : 1^o. Colectores de forma sinuosa é independientes para cada série vertical de tubos. 2^o. Comunicación especial é independiente con el depósito tanto en la parte anterior como en la posterior de cada elemento, ó série vertical de tubos. 3^o. Todas las uniones entre las diferentes partes de la caldera, sin roscas ni tornillos. 4^o. Desechar toda superficie que necesite el empleo de tirantes. 5^o. Suspensión de la caldera, independiente-

Muchos cientos de miles de caballos de fuerza han sido instalados durante los últimos doce años con arreglo á este tipo, dando excelentes resultados. La mayor parte de las figuras de este libro representan este tipo, conocido por su frente artístico de hierro fundido. Recientes



investigaciones han demostrado que el gasto de conservación de dichas calderas es menor que 25 céntimos por caballo y por año. Es el tipo mas extendido en América.

Nº 21.—Construcción un poco distinta de la anterior, es muy conocida en Europa donde la mayoría de las calderas nuestras están hechas con sujeción al mismo. El frente que en ellas se emplea es de hierro dulce. En esta caldera el depósito es mas largo, sus fondos son de acero forjado, las secciones estan reunidas por medio de cajas transversales roblonadas por abajo en las partes anterior y posterior. En el caso en que no haya altura disponible, se hace la toma de vapor por medio de un tubo interior "tubo secador." En este tipo tambien el depósito está sostenido por columnas y viguetas, aunque no lo indica el grabado.



Nº 21-22.

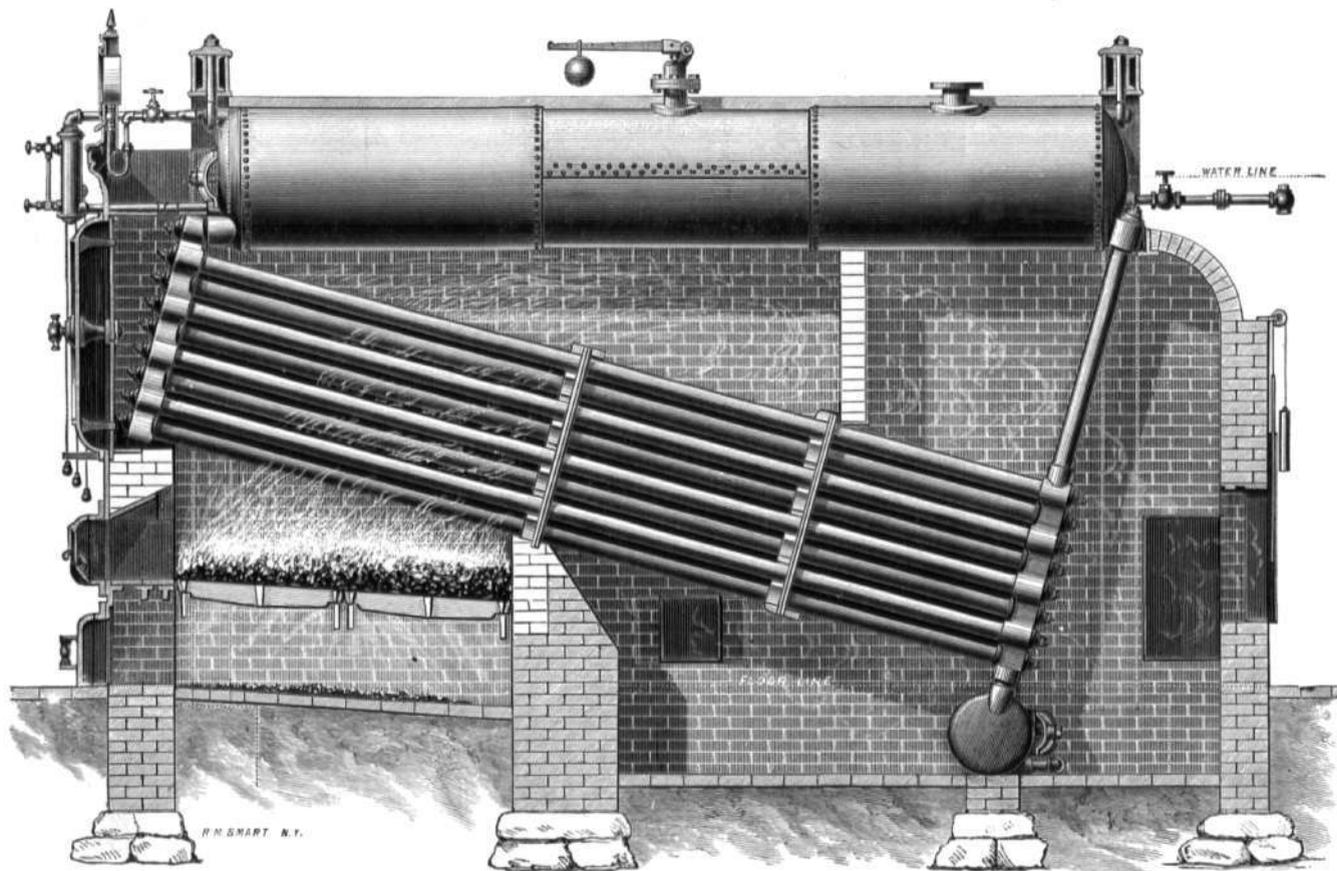
Nº 22.—Constituye el último paso de los perfeccionamientos en las calderas de tubos de

agua, hasta el punto de parecer imposible se pueda ir más allá; consiste en construir *todas las partes de la caldera con hierro ó acero forjado, tanto los colectores sinuosos, como las cajas de conexión transversales, ó de reunión con el depósito.* Se emprendió esta construcción á fin de satisfacer las exigencias de los regla-

mentos de policia de algunas naciones de Europa. Sus ventajas desde el punto de vista de la disminucion de su peso, aumento de resistencia y de duracion de sus diversas partes, han conducido á la Compañia Babcock y Wilcox á adoptarla de un modo

general, y tiene en sus talleres montada y trabajando una instalacion completa y especial que les permite construir de un modo regular todas estas piezas admirables y dificiles de forja que el "London Engineer" ha dicho constituyen el triunfo completo del arte del forjador."





Calderas Babcock y Wilcox, 755 m. c. de superficie de calefacción, en la Raritan Woolen Mills, Raritan, New Jersey, montadas en 1878 y 1881.
Vista longitudinal que representa la fachada y los fondos del depósito de fundición.



CONSTRUCCIÓN.



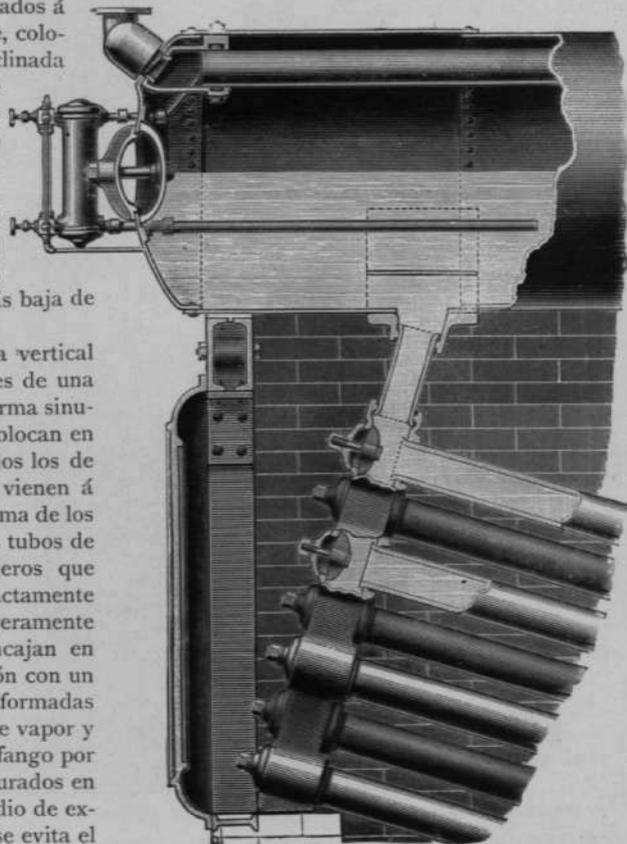
ESTA caldera está compuesta de tubos de hierro forjado ó de acero muy dulce soldados á recubrimiento ó solape, colocados en posición inclinada y comunicando entre sí y con los depósitos del vapor y agua por medio de conductos verticales dispuestos en cada uno de sus extremos. Al mismo tiempo comunican con el colector de fango situado en la parte posterior y más baja de la caldera.

La conexión de cada fila vertical de tubos la hacen colectores de una sola pieza construidos en forma sinuosa tal, que los tubos se colocan en tresbolillo, es decir, que todos los de una misma fila horizontal vienen á colocarse precisamente encima de los intervalos que separan á los tubos de la fila inferior. Los agujeros que reciben los tubos son exactamente adaptados á su forma, ligeramente cónica; y los tubos se encajan en ellos por medio de expansión con un mandril. Las secciones así formadas se unen con los depósitos de vapor y agua, y con el recipiente de fango por medio de tubos cortos asegurados en agujeros torneados, por medio de expansión; de esta manera se evita el empleo de pernos y se deja paso libre á la circulación por todas partes. Los registros para limpieza, se hallan

situados enfrente del extremo de cada tubo y se cierran por medio de tapas cuya superficie de unión está alisada con la mayor precisión á fin de obtener un contacto metálico perfecto, y se



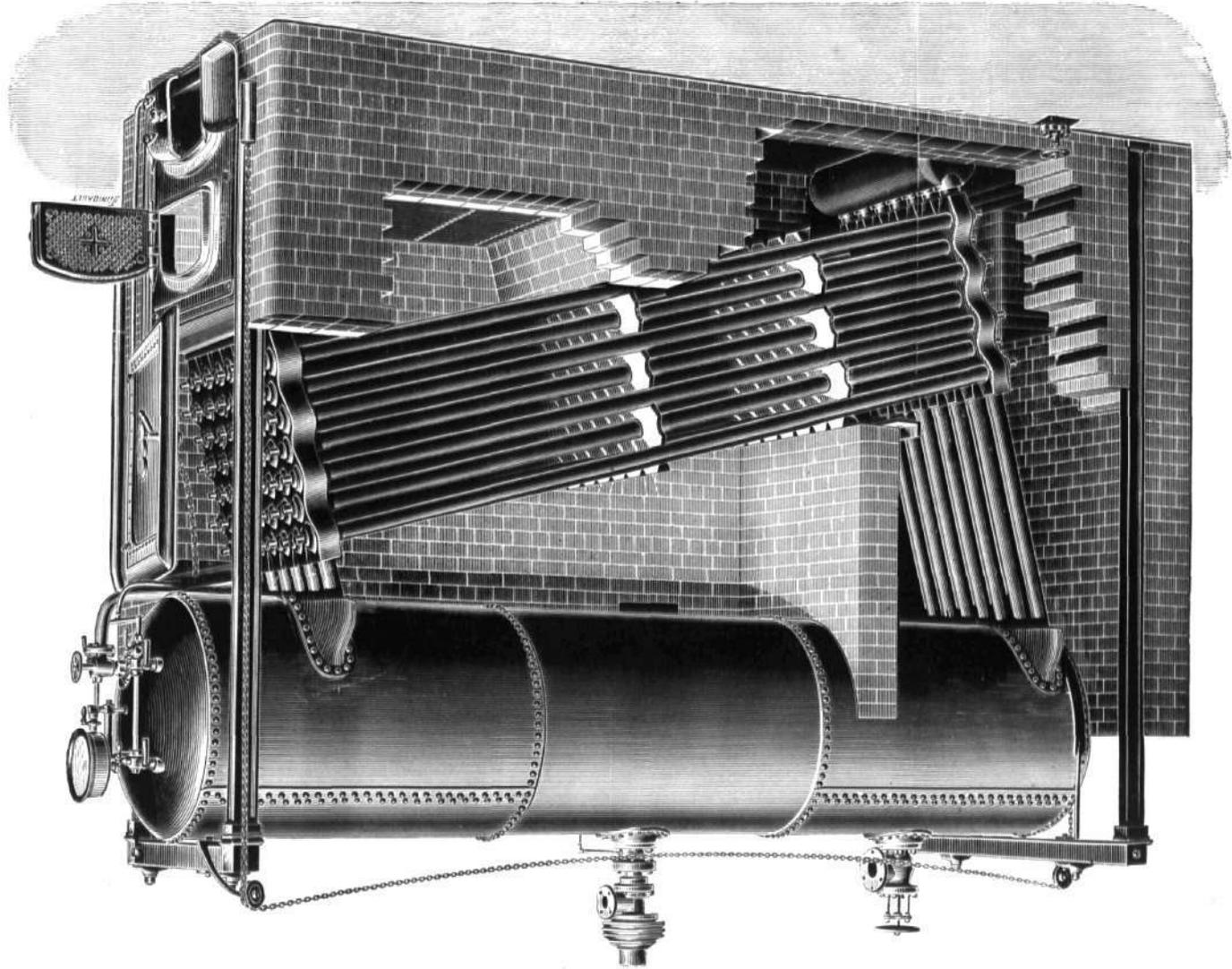
VISTA DEL EXTREMO DE UN COLECTOR DE HIERRO FORJADO.



CORTE VERTICAL PARCIAL.

sujetan por medio de puentes y pernos de hierro forjado, constituyendo un cierre perfectamente

Caldera Babcock y Wilcox. Vista en perspectiva, que representa la disposición del nuevo sistema con fachada de hierro y las cajas de conexión y los fondos del depósito de hierro forjado.



hermético. Su impermeabilidad y resistencia se prueban después de hechas á una presión hidráulica de 21 atmósferas.

Las juntas se hacen metal contra metal sin la intervención de ningún mastic ó betún ni de sustancias que como el caoutchouc, etc., son siempre alterables.

Los depósitos cilíndricos de vapor y agua están contruidos con fuertes palastros de hierro ó acero cosidos ó roblonados, con doble línea de remaches. Pueden construirse para cualquier presión que se desée, pero mientras no recibimos orden en contra los probamos á 10 atmósferas. Los recipientes de fango son de un hierro fundido especial homogéneo por ser aquel material ménos susceptible de corrosión, y se les construye de manera que sea muy fácil su limpieza.

MONTAJE.

La caldera, está suspendida por viguetas de hierro **L** que descansan sobre columnas de hierro **I**, y por completo independientes de la obra de fabrica. De este modo se obtiene que la caldera y los muros no sufran por la dilatacion desigual del hierro y de la mampostería, y al mismo tiempo permite que la obra de ladrillo puede repararse ó renovarse completamente sin tocar la caldera. Todos los accesorios son sumamente fuertes, y de la mejor construcción.

MODO DE FUNCIONAR.

El hogar está colocado en la parte anterior de la caldera debajo del extremo más elevado de los tubos; los productos de la combustión se elevan y pasan entre los tubos para ir á la cámara de combustión situada debajo del depósito ó receptáculo de agua y vapor, de donde descienden á través de la parte central de los tubos, nuevamente remontan por la parte posterior de los mismos, escapándose por la chimenea. El agua colocada dentro de los tubos, al calentarse tiende á ganar la parte superior y

al empezar á convertirse en vapor—forma una mezcla compuesta de vapor y agua que teniendo menor peso específico que el agua del extremo posterior de la caldera—sube por los conductos verticales al depósito, donde el vapor se separa del agua y ésta por su gran densidad va á la parte posterior de la caldera y por el conducto descendente baja á los tubos, estableciéndose así una circulación continua. Como las comunicaciones son sumamente desahogadas, la circulación es muy rápida y arrastra consigo al vapor tan pronto como se há formado, reemplazándolo el agua; de este modo se absorbe el calor del hogar de un modo muy ventajoso. Constantemente mezclada é impulsada el agua se mantiene á una temperatura

uniforme en toda la caldera, impidiéndose en alto grado por la circulación que se formen incrustaciones sobre la superficie de calefacción, pues los sedimentos y las sales precipitadas, son arrastrados por el agua y conducidos al receptáculo construido al efecto, de

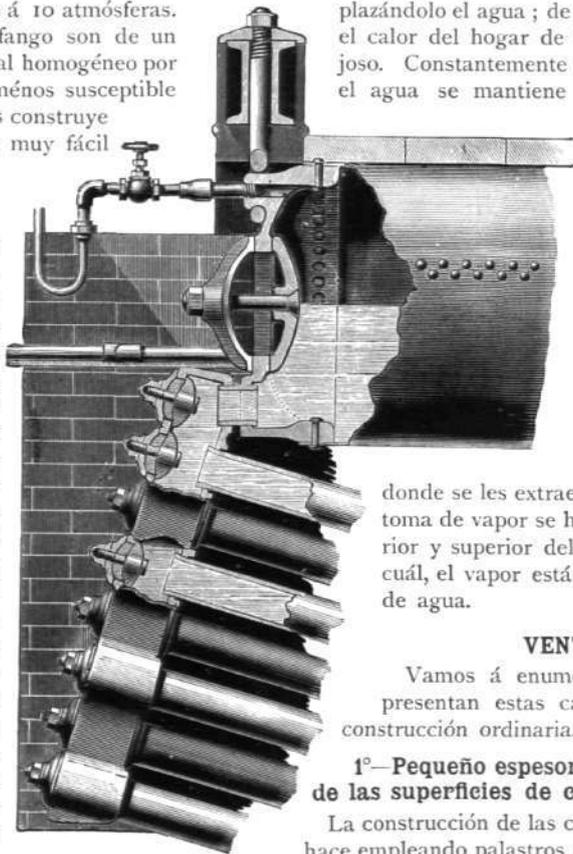
donde se les extrae periódicamente. La toma de vapor se hace en la parte posterior y superior del depósito, sitio en el cuál, el vapor está completamente libre de agua.

VENTAJAS.

Vamos á enumerar las ventajas que presentan estas calderas sobre las de construcción ordinaria.

1º—Pequeño espesor de las paredes de las superficies de calefacción directa.

La construcción de las calderas ordinarias se hace empleando palastros muy gruesos para las partes expuestas directamente á la acción del fuego: Este espesor no solamente es un obstáculo para la transmisión del calor, sino que las planchas gruesas pueden fácilmente enrojarse y aun quemarse por el lado del fuego produciéndose ampollas, grietas, debilidad y tendencia á roturas. Lo cual es un peligro por ser causa directa de la mayoría de las explosiones. Los tubos de agua, por el contrario, permiten se expongan á la acción directa del fuego las superficies de calefacción de muy poco espesor, haciendose la transmisión del calor con tanta rapidéz que el fuego mas violento no



puede enrojecer ó deteriorar la superficie, toda vez que el lado opuesto queda cubierto de agua.

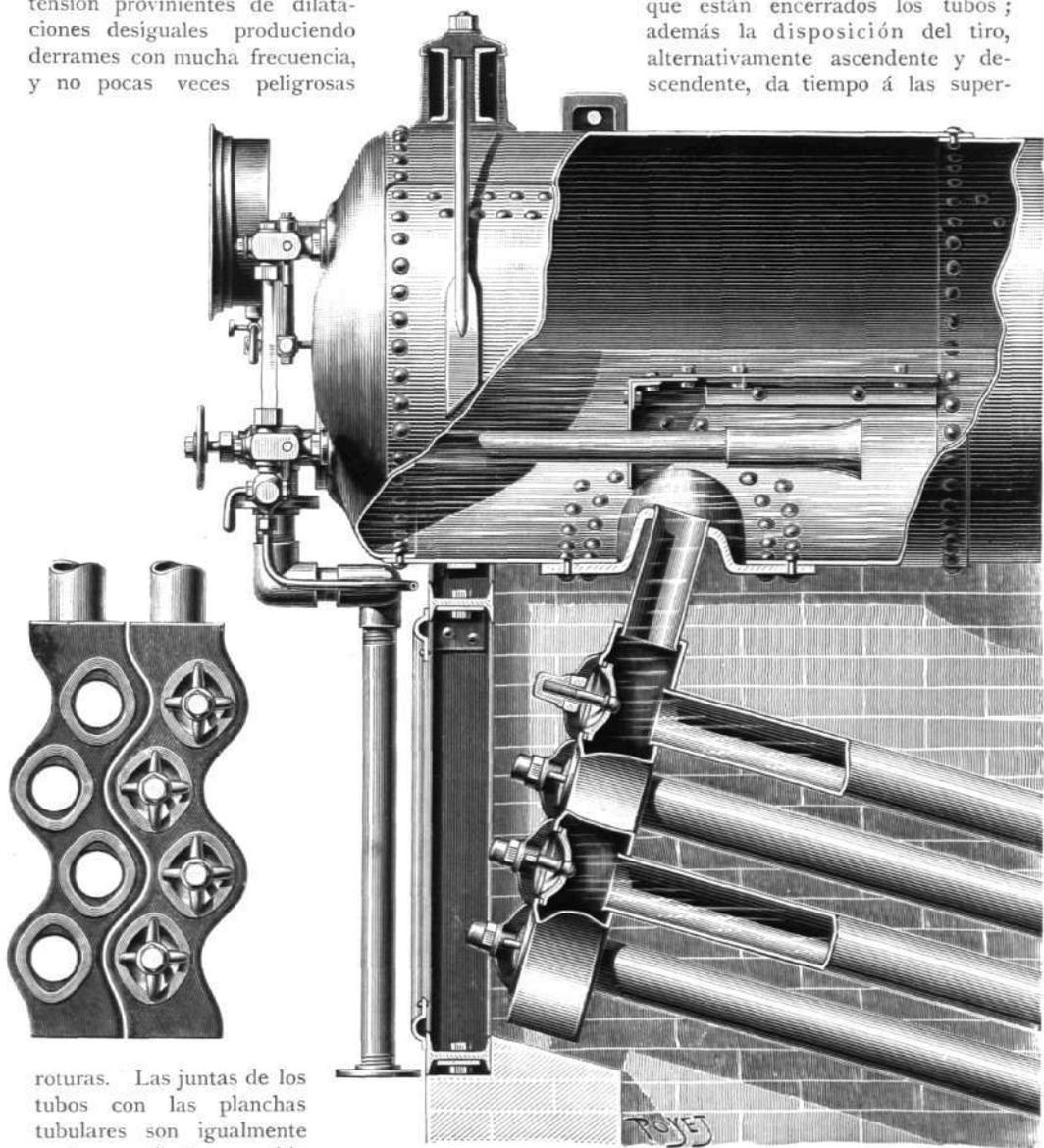
2°.—Las uniones están lejos de la acción del fuego.

Las costuras del metal hechas con remaches, por su doble espesor ofrecen inconvenientes muy graves, cuando están expuestas al fuego. Son los puntos más débiles de la caldera sobre los cuales se concentran los excesos de tensión provenientes de dilataciones desiguales produciendo derrames con mucha frecuencia, y no pocas veces peligrosas

Estos inconvenientes han desaparecido completamente en las calderas de tubos de agua con el empleo de tubos soldados á recubrimiento, y con las juntas lejos de la acción del fuego.

3°.—Gran área de tiro.

Esta, en las calderas con tubos de humo está limitada á la suma de las secciones interiores de los tubos, mientras que en las calderas con tubos de agua, el área es toda la cámara en que están encerrados los tubos; además la disposición del tiro, alternativamente ascendente y descendente, da tiempo á las super-



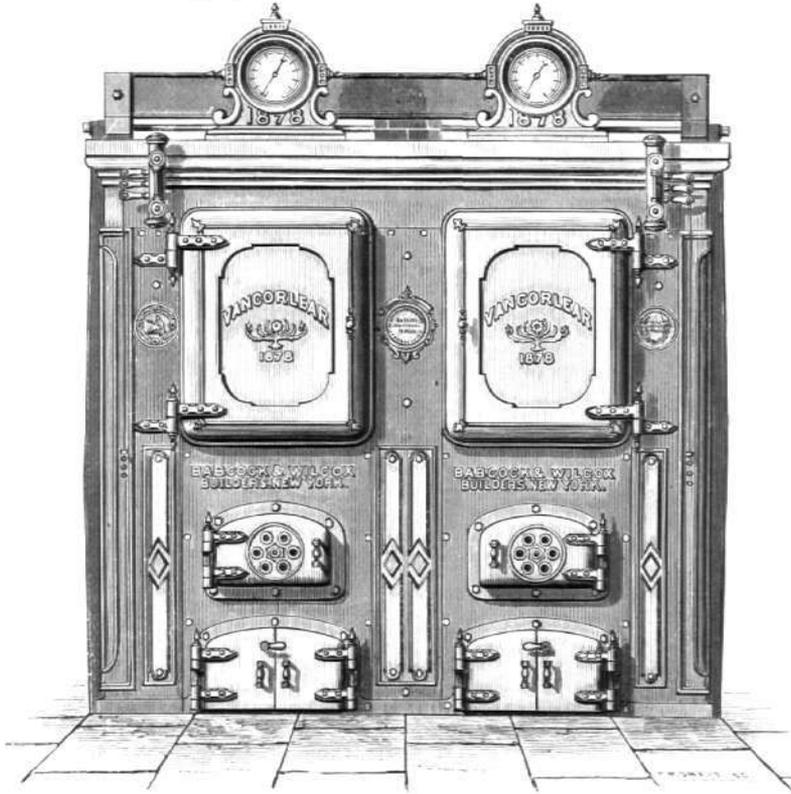
roturas. Las juntas de los tubos con las planchas tubulares son igualmente un inconveniente muy sério cuando están expuestas á la acción directa del fuego, como ocurre en las calderas de las locomotoras y todas las calderas multitubulares.

ficies para absorber el calor de los gases calentados antes de que sean arrastrados por la chimenea.

4º.—Combustión completa.

El que se verifique por completo la combustión, depende de que se haga una combinación íntima de los gases combustibles desprendidos, con una cantidad conveniente de aire atmosférico; pero esta combinación rara vez se verifica en los hogares ordinarios, como lo prueba el análisis químico de los productos de combustión, y el humo negro que escapa por la chimenea cuando se introduce combustible en el hogar. Sin embargo, la pérdida por el humo negro no es comparable á la que proviene de la

siempre la existencia de un exceso de oxígeno libre; lo cual prueba que en el hogar ha entrado aire suficiente y por lo tanto lo que se necesita es que la mezcla sea mas completa y más íntima. Cada partícula de gas desprendido del combustible debe encontrar la cantidad de oxígeno necesario para su combustión y eso en el momento preciso en que su temperatura sea suficientemente elevada para que haya combinación. En estas calderas, la corriente de los gases se divide al chocar con el laberinto que forman los tubos, se mezcla con el aire, y tiene



Caldera Babcock y Wilcox de 128 m. c. de superficie de calefacción en la Vancorlear Apartment House, New York, montada en 1878. Vista de la fachada de hierro colado.

formación de óxido de carbono invisible, en el humo. Muchas tentativas se han hecho para remediar este mal, admitiendo aire en el hogar, ó en los fluses para quemar el humo; pero aunque por este sistema se consiga mezclar con el humo la cantidad de aire necesario para hacerlo invisible y aun para quemar alguno de los gases más ligeros, en realidad ayuda poco á la combustión y la pérdida por el enfriamiento producido por el aire es de mucha más importancia que el calor ganado por la combustión de los gases. El análisis de los gases tomados en los hogares de calderas más diversas acusa casi

tiempo de completar su combustión en la cámara triangular comprendida entre los tubos y el depósito.

Que esto es realmente lo que acontece, lo demuestra el análisis practicado por el Dr. Behr, en los gases recogidos á su salida de la chimenea de unas calderas Babcock y Wilcox instaladas en la refinería de azúcar de los Sres. Mattheissen y Wiecher. Varios análisis se hicieron en distintas ocasiones y en todos ellos encontró á lo más, un uno por ciento de oxígeno libre cuando habia algun vestigio de óxido de carbono.



Gran Opera de Viena (Austria) alumbrado por electricidad.

El vapor se suministra á las máquinas, por 1275 m. c. de superficie de calefacción de calderas Babcock y Wilcox.

5°—Completa absorción del calor.

Nuestras calderas presentan ventajas considerables desde este punto de vista, en razón á que la corriente de gases es casi perpendicular á las superficies de calefacción, por consiguiente choca con ellas en vez de resbalar á lo largo de las mismas como sucede en las calderas multitubulares ordinarias. Las corrientes de los gases como pasan tres veces por entre el ház de tubos se ponen en contacto inmediato con todos los puntos de la superficie de calefacción. El rendimiento del metro cuadrado medio es superior al que se obtiene por las disposiciones ordinarias.

Los experimentos del Dr. Alban y de los Ingenieros de una Marina de los Estados Unidos, prueban que, la fuerza producida por la superficie dispuesta de este modo es un 30 por 100 mayor que la obtenida con la misma superficie empleada en las calderas de tubos de humo.

6°—Circulación efectiva del agua.

Como toda el agua de la caldera, tiende á circular en una misma dirección, no hay corrientes contrarias y el vapor es arrastrado rápidamente á la superficie; todas las partes de la caldera se mantienen casi á una misma temperatura lo cual impide las dilataciones desiguales, y las partículas sólidas precipitadas siguen la corriente, sin poder depositarse sobre las superficies de calefacción.

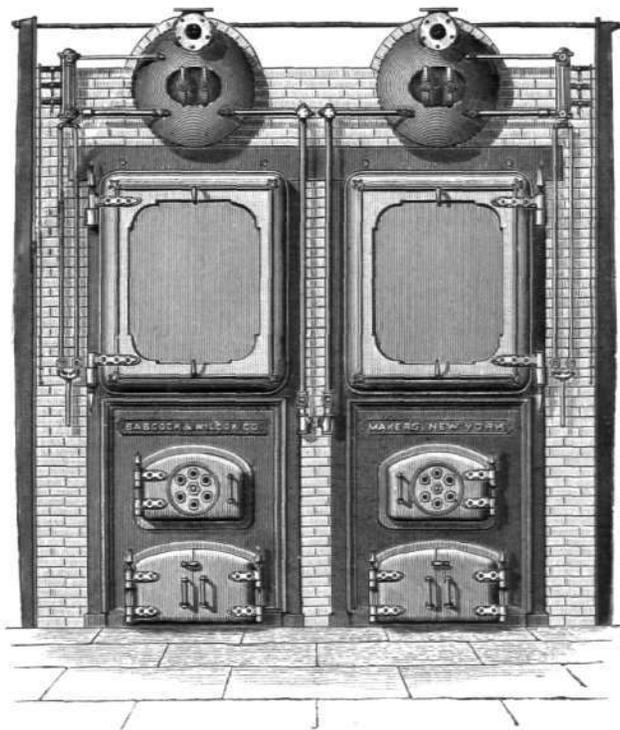
7°—Formación rápida del vapor.

Gracias á la división del agua en una série de pequeñas corrientes, que circulan en envolventes de poco espesor y pasan á través de la parte más caliente del hogar, el vapor se forma con gran rapidéz tanto al poner la caldera en marcha, como cuando se trata de responder inmediatamente á demandas inesperadas.

8°—Sequedad del vapor.

La gran superficie de desprendimiento de vapor en el depósito, así como el hecho de que el vapor empieza á desprenderse por el extremo anterior del depósito y se le toma por el otro, dan por resultado que este se separe completa-

mente del agua aunque la caldera trabaje al máximo. La mayor parte de las calderas tubulares tipo locomotora, ó seccionales, producen vapor húmedo en el estado vesicular ó en polvo, fenómeno que se indica por la palabra "primage" ("proyección"); hay muchas que van provistas de superficies recalentadoras á fin de secar el vapor; pero tales superficies son siempre causa de muchas dificultades, y es imposible graduarlas para las exigencias de una producción y de un consumo siempre variables. Ningun palastro que no tenga por un lado agua debe exponerse por el otro á la acción del fuego, puesto que resultarían grandes dilataciones



Caldera Babcock y Wilcox de 128 m. c. de superficie de calefacción en la H. I. Kimball House, Atlanta, Georgia, montada en 1884. Vista de la fachada de hierro forjado.

desiguales, que necesariamente han de perjudicar y debilitar al metal y son causa muy seria de peligro.

De aquí que son mucho mejores las calderas que dan el vapor seco, que las que lo secan despues de producirlo húmedo.

9°—Estabilidad del nivel del agua.

La gran área de la superficie del agua en el depósito y las secciones desahogadas que ofrecen las calderas para la circulación del vapor,

aseguran la estabilidad del nivel de agua por lo menos en tan buenas condiciones como en cualquiera otra caldera.

10°.—Libertad de dilatación.

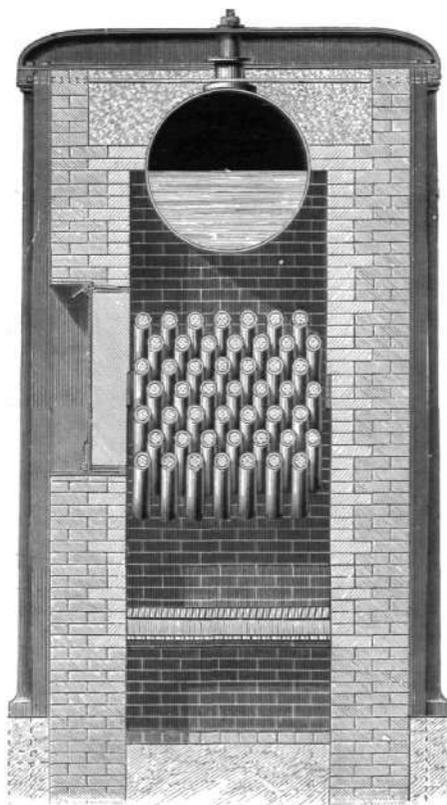
La disposición triangular de los distintos organismos de la caldera les permite dilatarse libremente sin que unas tengan que ejercer esfuerzos sobre las otras, las juntas mandrinadas

pequeñas secciones evita las consecuencias desastrosas de una rotura casual.

La pequeñez relativa de diámetros de las diferentes partes de la caldera, hace que, á pesar de tener poca grueso, tengan una resistencia muy superior á las presiones á que puedan estar sometidas. Tan activa y poderosa es la circulación del agua que ninguna parte de la superficie de calefacción puede quedar en seco antes que la cantidad de agua que quede en la caldera



ALZADO.



CORTE VERTICAL.

Caldera Babcock y Wilcox instalada en 1878 en el laboratorio de T. A. Edison en Menlo Park, N. J. tiene 80 m. c. de superficie de calefacción.

Representa una disposición de fachada para una sola caldera.

tienen también toda la elasticidad necesaria para este objeto. Además, como ya hemos hecho notar, la rápida circulación del agua en estas calderas hace que se tenga una temperatura igual en todas sus partes, é impide en gran manera toda causa de dilataciones desiguales.

11°.—Seguridad contra las explosiones.

Al haber evitado la desigualdad de dilatación se ha evitado ya la causa más frecuente de explosiones, y el tener el agua repartida en

sea insuficiente para dar lugar á una explosión aún en el caso de enrojarse todos los tubos.

12°.—Capacidad.

Es este punto de gran importancia, y de él depende en gran parte, la buena marcha de un generador. Si no hay bastante capacidad para el vapor y el agua, no puede haber regularidad en el funcionamiento. La presión del vapor subirá ó bajará de repente, lo propio ocurrirá al nivel del agua que estará sujeto á cambios frecuentes

y repentinos. Una toma súbita de vapor ó un exceso de producción ocasionarán el desprendimiento de vapor húmedo.

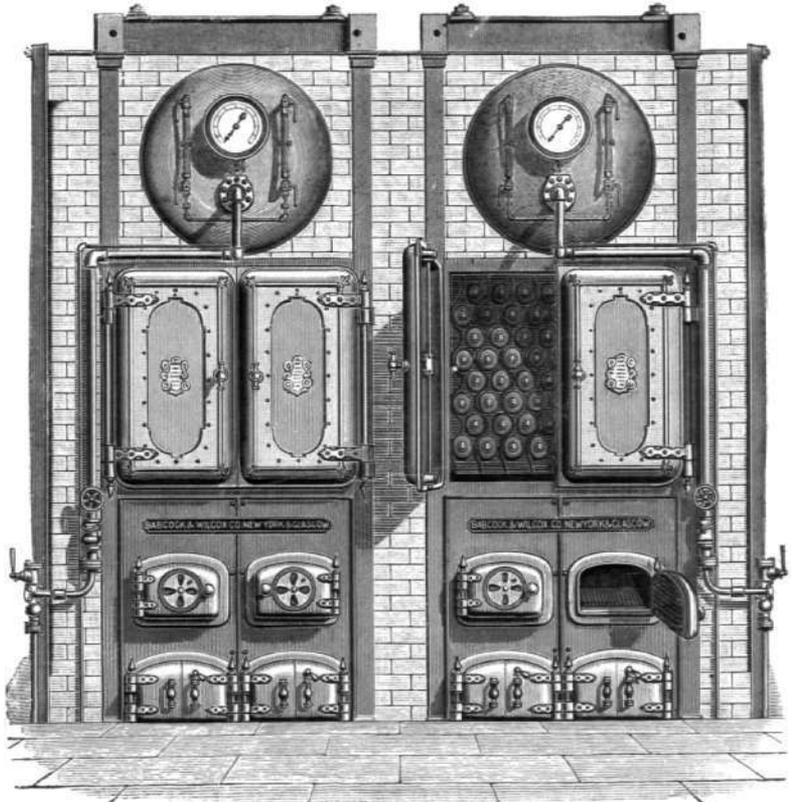
La cámara del agua tiene mucha más importancia que la del vapor, debido al poco peso específico de este y sobre todo á la enorme cantidad de calor almacenado en el agua saturada. La importancia de tener una gran cámara de vapor se ha exagerado mucho, si bien en el caso de que su capacidad sea demasiado pequeña, el vapor, al desprenderse, arrastrará consigo partículas líquidas. Por otra parte una cámara de agua demasiado grande hace que la vaporización sea lenta, y se origina un aumento de gasto de combustible al ponerla en marcha. Un depósito de vapor demasiado grande aumenta la superficie de irradiación, y por consiguiente las pérdidas de calor que resultan de esta causa. Las proporciones de la caldera Babcock y Wilcox no han sido definitivamente adoptadas sino despues de numerosos experimentos hechos con calderas de diversas capacidades; y la experiencia ha venido á demostrar que tal como ella es, puede ser forzada hasta el último extremo, manteniéndose el nivel del agua y la presión, constantes, y producir siempre vapor seco.

Valorada su fuerza en caballos, el volúmen de la caldera propiamente dicha, es igual al de las mejores calderas tubulares ordinarias. Como la superficie de la parrilla está ampliamente proporcionada y dispuesta del modo más eficaz; con un buen combustible y una máquina convenientemente económica esta caldera puede exceder considerablemente su fuerza estimada. Debemos decir, no obstante, que rara vez será económico hacer trabajar á una caldera á marcha forzada. El espacio total ocupado por esta caldera y su macizo de fábrica, es próxima-

mente igual á dos terceras partes de el ocupado por las calderas tubulares ordinarias de fuerza igual.

13°.—Facilidad de limpieza.

Las calderas de este sistema ofrecen gran facilidad para su limpieza, lo que constituye una ventaja importantísima. Las portas de mano, herméticas, con juntas de metal contra metal, colocadas en los dos extremos de los tubos, permiten limpiarlos facilmente; una abertura



Calderas Babcock y Wilcox, establecimiento del Señor Antonio Chiris, Fabricante de aceites esenciales en Grasse y en Boufarik (Argelia). Las tres primeras calderas instaladas en Grasse 1891; 2 calderas para Boufarik en 1892, una cuarta caldera en Grasse en 1893; total 920 m. c. de superficie de calefacción, con economizador Babcock y Wilcox.

por la que puede pasar un hombre sirve para la limpieza de las cámaras de agua y vapor, y para la del depósito de fango, hay una, dos ó tres portas de mano, segun su longitud. Todas las partes tanto del interior como del exterior de la caldera son completamente accesibles para la limpieza. Aplicando de vez en cuando un chorro de vapor á la parte exterior de los tubos de agua, por medio de una manga, valiéndose de las puertas de los muros laterales, se conseguirá tenerlas siempre limpias de hollin, y en las mejores condiciones para absorber el calórico.

14°.—Reducción de la pérdida debida á los depósitos de polvo.



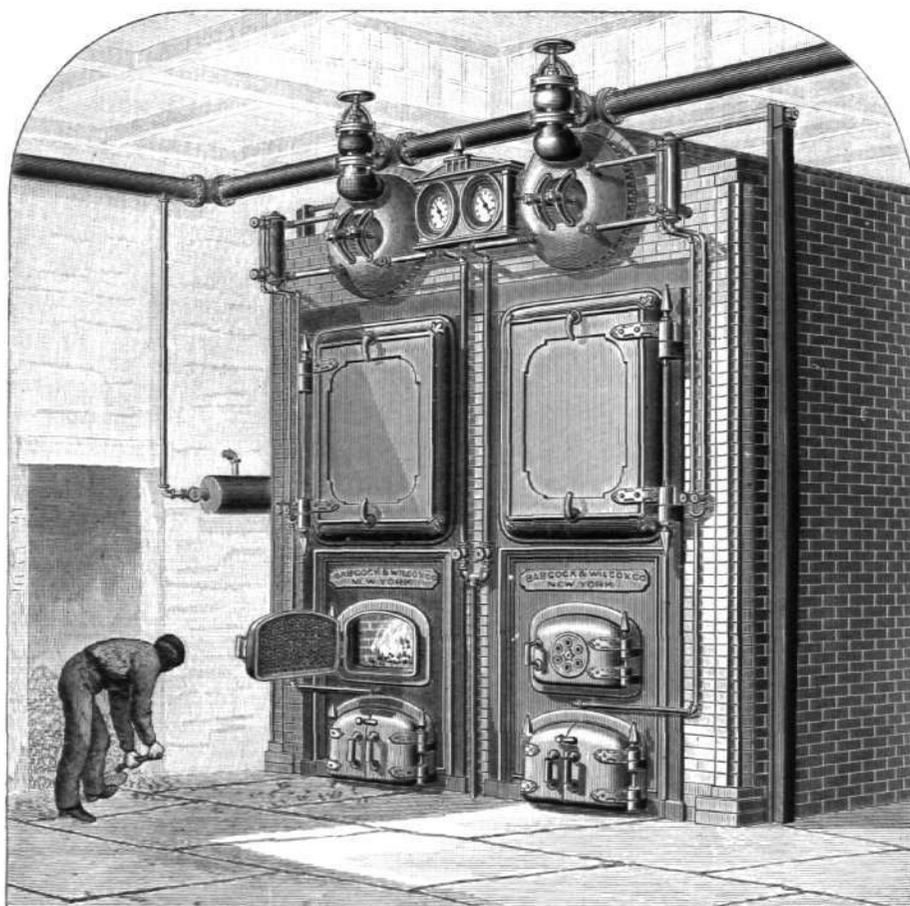
TUBO DE AGUA.

Los tubos de humo ordinarios, como reciben el polvo y la ceniza en su interior, pronto se cubren de él en una tercera parte ó en una mitad de su sección y con el tiempo



TUBO DE HUMO.

á la acción corrosiva que destruye tan rápidamente las extremidades de los tubos de humo ni á estos efectos de soplete que dan lugar á los golpes de fuego. Ningun palastro situado por encima del nivel del agua, recibe directamente la acción del calor. Por todas estas razones, nuestras calderas son de más duración y necesitan menos reparaciones que cualquiera otra caldera en las mismas circunstancias y con el mismo cuidado.



Calderas Babcock & Wilcox de 175 m.c. de superficie de calefacción instaladas en 1884 para Greenfield & Co., en Brooklyn, N.Y.

se ciegan completamente. Los tubos de agua, por el contrario, no retienen sino una pequeña cantidad de polvo en su parte superior, y lo demás á medida que se vá formando, vá cayendo por sí mismo.

15°.—Duración.

Además del considerable aumento en la duración debido á la no existencia de dilataciones desiguales, y al no haber planchas gruesas ni costuras expuestas al fuego, ocurre que tampoco hay ninguna parte de la caldera expuesta

16°.—Facilidad de Transporte.

Las calderas Babcock y Wilcox como estan construidas en secciones y pueden montarse sin necesidad de más herramientas que un mandril de expansion, es posible transportarlas con facilidad y economia aún á puntos donde no lo seria el llevar una caldera de construcción ordinaria. En caso de necesidad pueden hacerse en secciones muy pequeñas, para el transporte á lomo ó por caballerías.

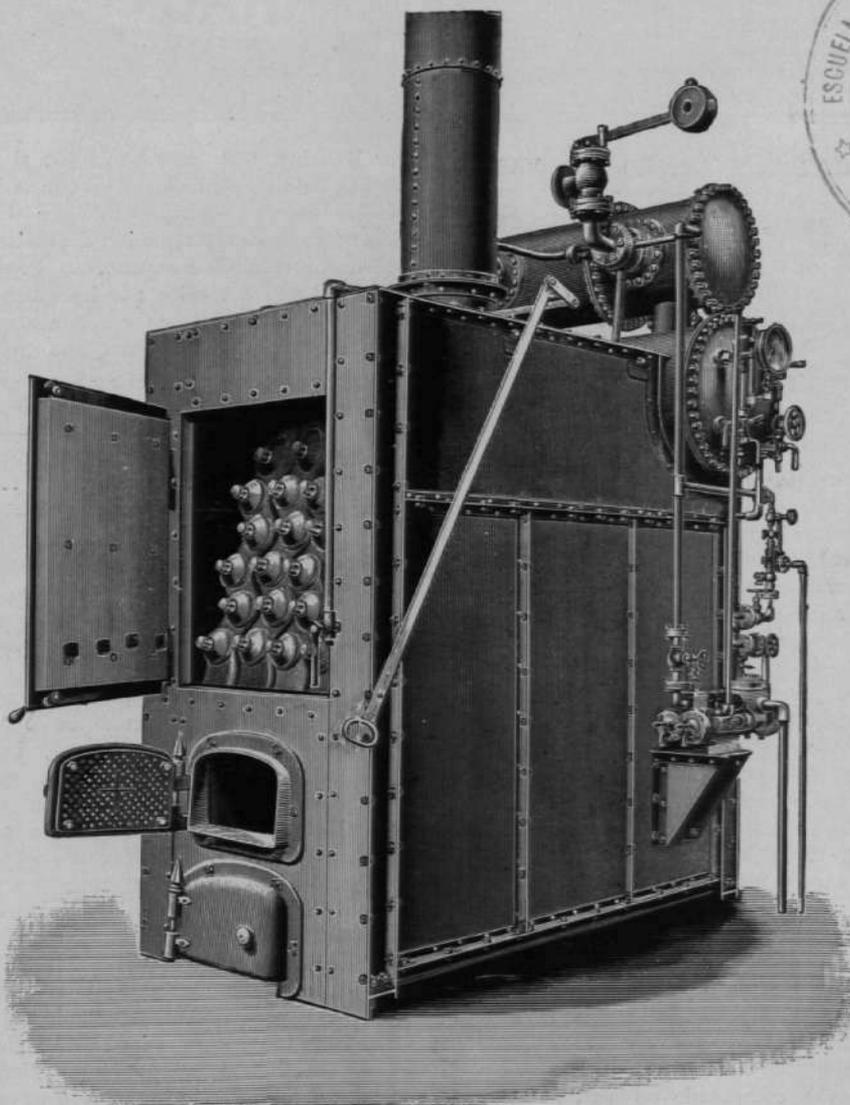
17°.—Reparaciones.

Tal como son construidas hoy estas calderas, rara vez necesitan reparaciones, pero si por cualquier causa hay precisión de hacer alguna, puede repararlas cualquier buen obrero mecánico con las herramientas ordinarias de una calderería. Si hay necesidad de renovar un tubo, se quita y se coloca el nuevo lo mismo que en cualquiera caldera tubular ordinaria.

18°.—Sanción de la experiencia.

Las ventajas que hemos hecho notar serian

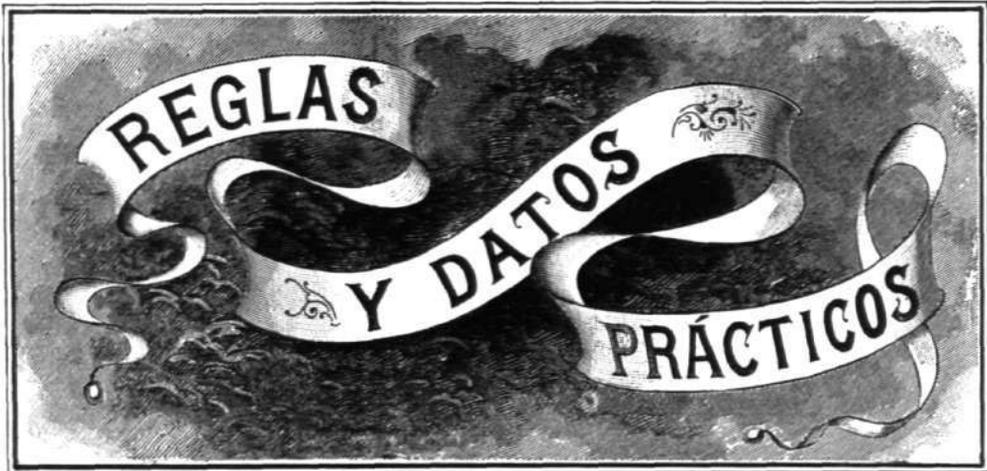
dignas de tenerse en consideración aunque no fueran sino resultados de la teoría ; únase á esto que la experiencia de veinticinco años realizada, bajo gran variedad de circunstancias y de toda clase de tratamientos, ha demostrado que son ciertas. Ni el dos por ciento del número total de calderas que hemos vendido están, segun sabemos, fuera de uso ; por el contrario, gran número de nuestros clientes han repetido sus pedidos—algunos, distintas veces—como puede verse en la lista de referencias publicada al final de este libro.



Caldera Babcock y Wilcox transportable.

Caldera completa con su envolvente, su chimenea y sus aparatos de alimentación, se puede desmontar en piezas, de las cuales las mas pesadas pesan ménos de 135 kilógramos.





PRODUCCIÓN Y EMPLEO DEL VAPOR.

Rendimiento efectivo de una Caldera.



A combustión de un kilogramo de carbon puro desarrolla 8080 calorías (unidad francesa); si fuera posible utilizarlas completamente en trabajo mecánico, con cada kilogramo de carbon quemado por hora, á razon de 425 kilogrametros por caloría, se podría disponer de una fuerza de 12,7 caballos, es decir, diez veces más de lo que se obtiene en la práctica.

Si la caldera utilizara las 8080 calorías unicamente en la evaporización, produciría 15 kilos. de vapor á 100°, por cada kilogramo de carbon quemado. Una caldera que vaporice 8,5 de agua por kilogramo de combustible, no utiliza sino el 56 por 100 del calor producido; tal es el rendimiento medio de las calderas ordinarias.

La vaporización por término medio de las calderas Babcock y Wilcox, es 11,4217 por kilogramo de carbon gastado. Esta cifra es el resultado, como término medio de treinta pruebas, realizadas durante los últimos doce años, cuando menos por veinte Ingenieros diferentes, y bajo condiciones y circunstancias por completo diversas. Salvo dos excepciones, todas han sido hechas con calderas de uso diario para objetos industriales, en Inglaterra, Escocia, y todas partes de los Estados Unidos, con combustible de todas clases y grado de combustión más ó menos rápida, la duración de los ensayos comprende un periodo de más de tres meses y la evaporación resulta de mas de 3,000 toneladas. Es una producción inferior unicamente en un 4 por 100 al máximo indicado

por Rankine, y en un 7,5 por 100 al máximo teórico, bajo las condiciones en que se hicieron las pruebas. Es poco probable que algun otro sistema de calderas sometido á pruebas serías pueda dar resultados superiores. Perdiéndose cerca del 15% del calor por los gases que se escapan por la chimenea y por irradiación, no se puede pensar en obtener una producción mayor de 12,5 por kilogramo de combustible y es evidente que ninguno que pretenda haber excedido esta cifra es digno de confianza.

Un generador de vapor se compone de dos partes distintas, cuyas funciones son completamente independientes entre sí. El hogar, que es donde tiene lugar la combustión, y que llena su papel perfectamente cuando ha producido la mayor cantidad posible de calórico con una cantidad dada de combustible, lo cual no significa con la mayor intensidad. La caldera propiamente dicha, que tiene por objeto utilizar el calor producido en el hogar, convirtiendo el agua en vapor, y que llenará tanto mejor su misión cuanto mayor sea la cantidad de calor utilizado. A falta de apreciación de este hecho, y de conocimiento de los principios fundamentales, hay que atribuir la mayor parte del dinero perdido y de los desengaños sufridos, por los inventores y por los que emplean el vapor.

Como el objeto de una caldera es hacer vapor, solo puede utilizar el calor de una intensidad c de una temperatura superior á la del mismo vapor; por lo tanto los gases de la combustión no deben, para obtener resultados útiles, ser sometidos á temperatura inferior á la del vapor, pues sometiéndolos á temperatura inferior todo el calor que ha servido para esto es completamente perdido.

La cantidad así perdida depende de la cantidad de aire que se ha admitido en el hogar y

del aumento de temperatura que tiene al escaparse. Cuanto más aire se deja entrar mayor es la pérdida, y aquí tenemos la razón del porqué han fallado todas las invenciones que tenían por objeto introducir aire sobre la parrilla.

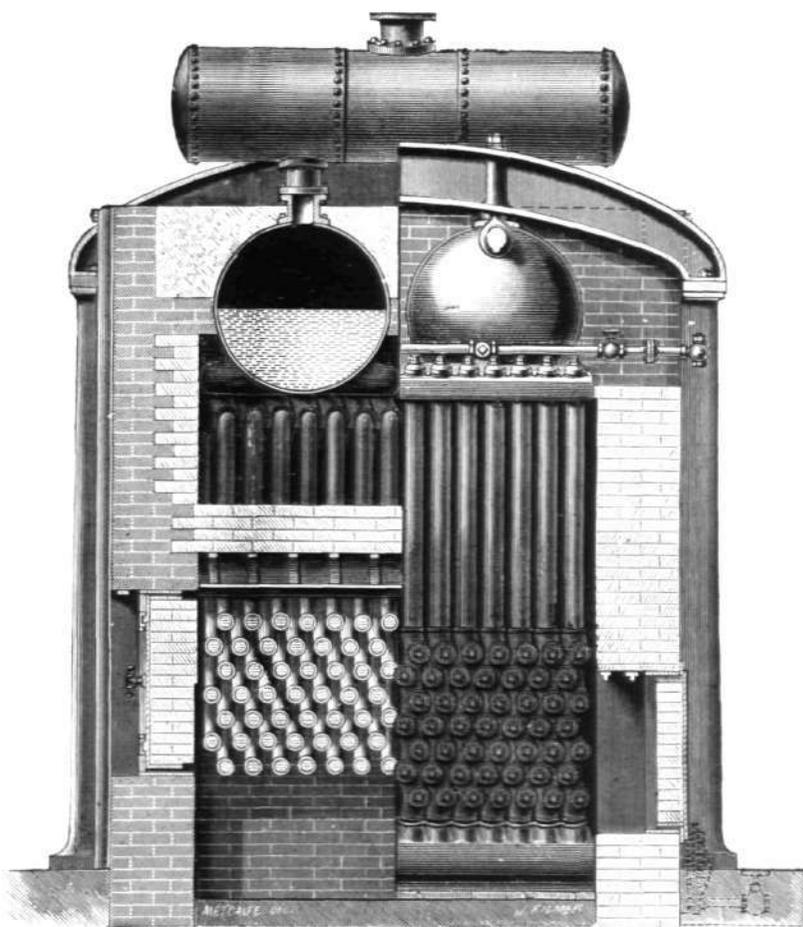
El consumo de la caldera no debe exceder de 1^o.5 de carbon por hora y por metro cuadrado de superficie de calefacción, á no ser que sea más importante obtener mucho vapor que economizar combustible. Cuando se usa tiro forzado, es decir, se emplea ventilador, la superficie de la parrilla debe reducirse proporcionalmente al tiro para obtener la mayor economía.

“Para asegurar la mayor conductibilidad del calórico, es decir, la mayor transmisión del calor, en una caldera, debe esta estar construida de modo que se obtenga una circulación rápida, uniforme, y completa del agua en el interior de aquella . . . y que la corriente de los gases circule en dirección contraria á la del agua” — Profesor R. H. THURSTON.

La acumulación de incrustaciones en el interior y del hollin en el exterior perjudican en gran manera al rendimiento y economía de la caldera. Una capa de hollin de solo 3^o.m de espesor, hace que la superficie de calefacción sea casi inútil. Una capa de incrustación de 1^o.m.5 de espesor produce una pérdida de 13% de calor. Las calderas deben, por lo tanto, conservarse limpias interior y exteriormente si se quiere obtener de ellas todo el efecto y economía posibles, es decir, su máximo efecto útil.

El forzar una caldera no reporta nunca economía, y los mejores resultados se obtienen trabajando con una caldera de capacidad proporcionada á su objeto. Tambien es menester conservar la obra de fábrica en buen estado y de cuidar bien el fuego cuando se desea obtener economía.

El resultado de haber montado mal una caldera, ha producido algunas veces una pérdida de 21%.

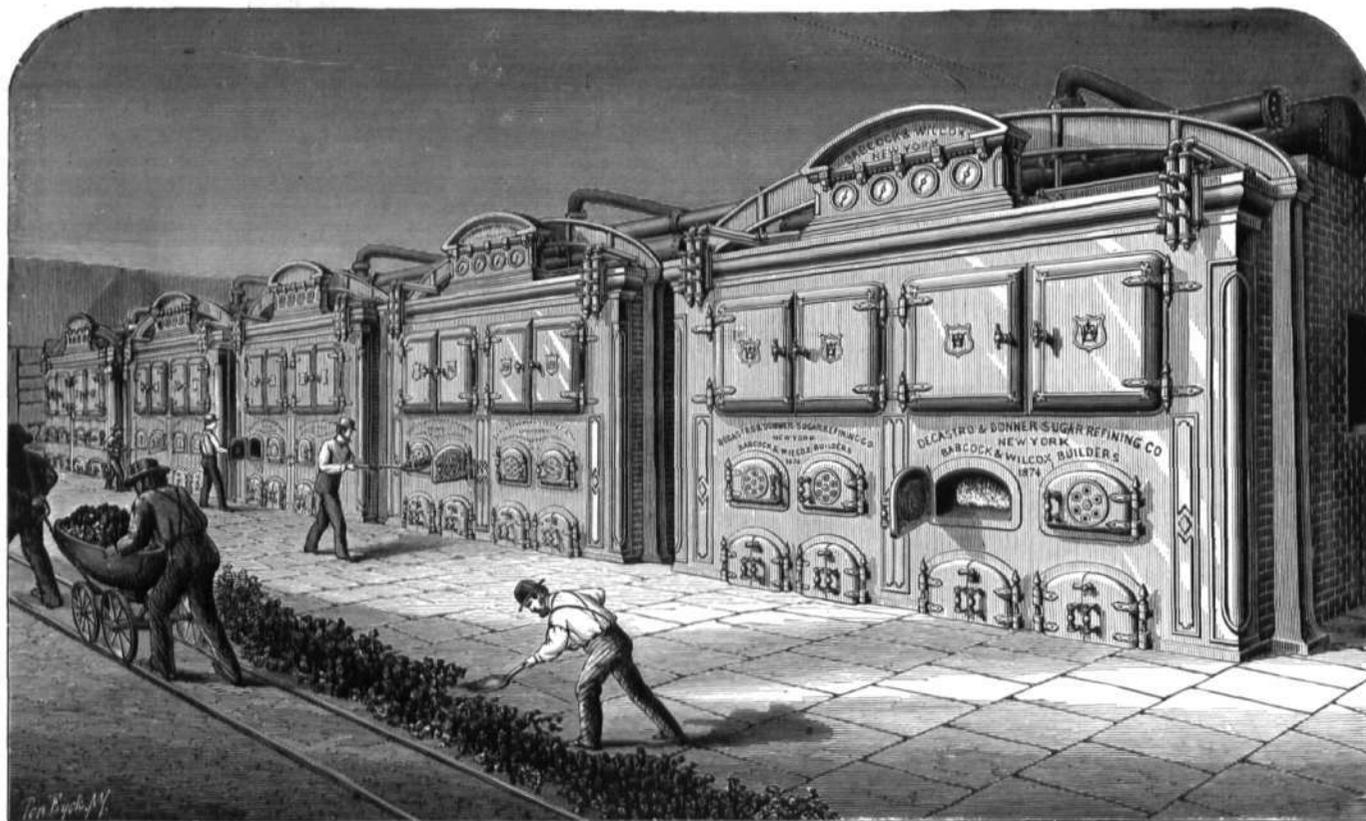


CORTE VERTICAL.

Calderas Babcock y Wilcox en la Exposición del Centenario de la Independencia de los Estados Unidos, en 1876, 160 m. c. de superficie de calefacción.

Rendimiento del hogar.

La combustión puede definirse como “la combinación química de dos sustancias heterogéneas con desprendimiento de luz y calor.” En la práctica, una de estas sustancias es el oxígeno del aire, la otra el combustible empleado. Cada kilogramo de combustible necesita una cierta



*Calderas Babcock y Wilcox, en la Refinería de azúcar de la Sociedad De Castro y Donner, parte norte de la calle 3ª,
Brooklyn E. D. 1285 m. c. de superficie de calefacción instaladas en 1874; 320 m. c. en 1876.
Para la misma Compañía en la parte sur de la calle 9ª, se han instalado 963 m. c. en 1871, 160 m. c. en 1877 320 m. c. en 1888,
en total: 3460 m. c. de superficie de calefacción.*

cantidad de oxígeno para su combustión completa, y por lo tanto, una cantidad determinada de aire. Esta varía con las diversas clases de combustible, pero en todo caso, la falta de aire, impide la combustión completa, y un exceso de aire representa la pérdida del calor empleado en elevar el aire á la temperatura de los gases que se escapan.

Con el tiro natural de las chimeneas, según experimentos hechos por la Marina de los Estados Unidos, se deduce que en los hogares ordinarios se necesita el doble de la cantidad de aire químicamente necesario para que la combustión sea completa.

El Profesor Schwackhoffer, de Viena, estima que en las calderas empleadas en Europa, el exceso de aire es, por término medio, 70% del total que pasa á través de la parrilla, ó sea próximamente mas de tres veces la cantidad necesaria.

Una serie de análisis practicados por el Profesor Behr, en los gases que salen de una caldera Babcock y Wilcox, con el tiro ordinario de la chimenea, dió por resultado, como término medio, la existencia de un exceso de 48% de la cantidad total admitida en el hogar.

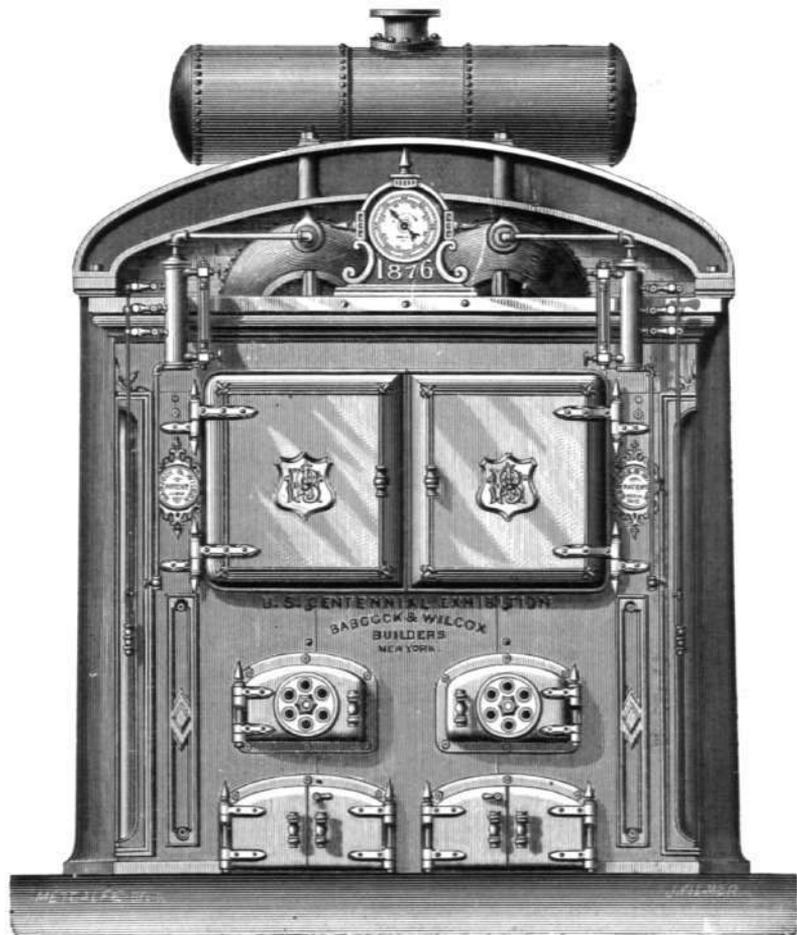
Otras 12 pruebas practicadas por el mismo con las mismas calderas trabajando con tiro forzado, dieran por resultado el comprobar que había un exceso, por término medio, del 22% de la cantidad total, no habiendo en algunos casos ninguno, sin embargo se apreciaron solo vestigios de óxido de carbono, lo cual prueba que la combustión había sido perfecta.

En un resumen de experimentos hechos en Inglaterra, y publicados por Bourne en su gran obra (Máquinas de vapor, aire y gás) se establece que:

“Un fuego moderadamente condensado y caliente, con tiro rápido da uniformemente los mejores resultados.”

“La combustión del humo negro por la introducción de aire, es una causa de pérdida.”

“En todos los experimentos se han obtenido



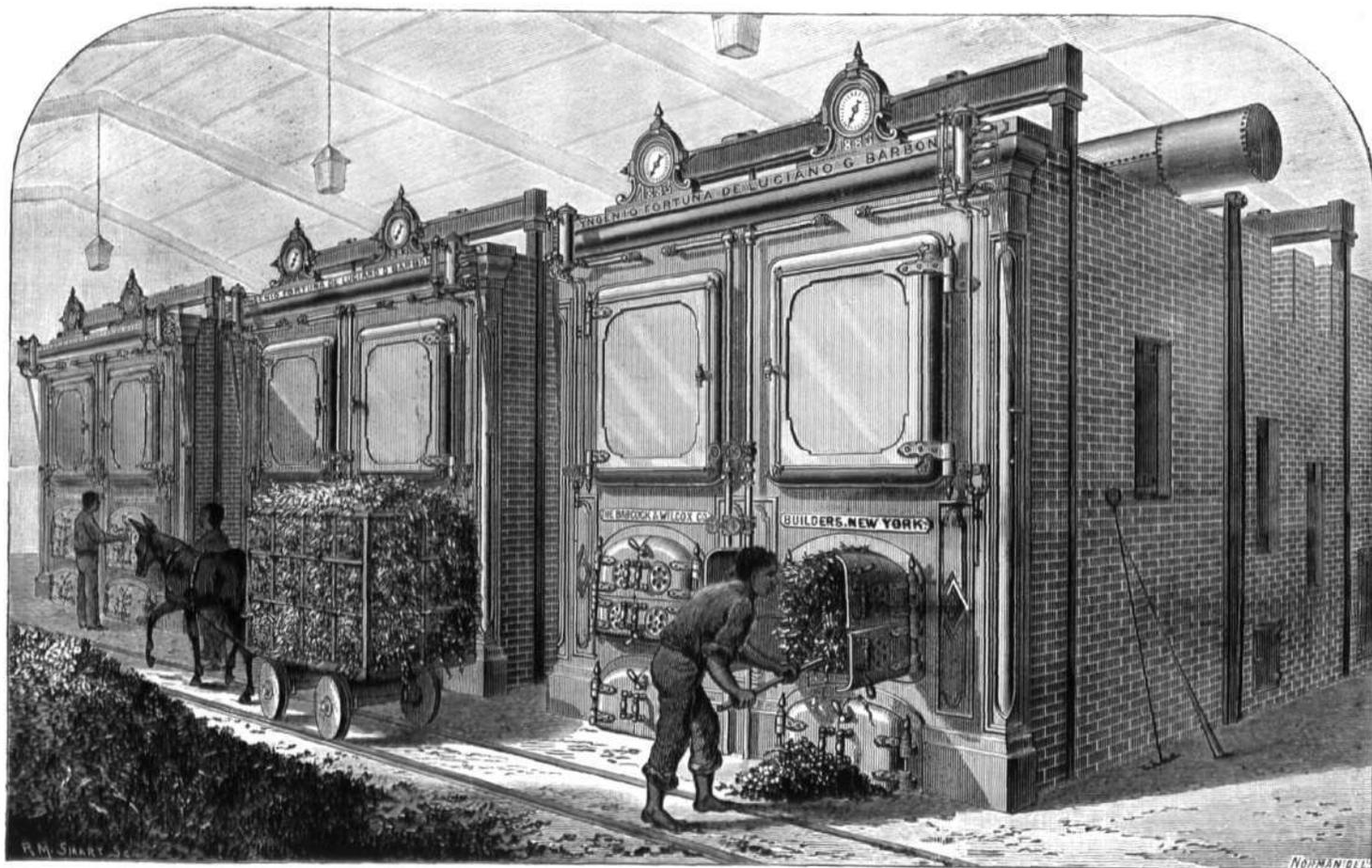
VISTA EN ALZADO.

Caldera Babcock y Wilcox en la Exposición del Centenario de la Independencia de los Estados Unidos, en 1876, 160 m. c. de superficie de calefacción.

los mejores resultados cuando toda la masa de aire se introdujo al hogar por entre los barrotes del emparrillado.”

“Solamente el modo de conducir el fuego puede producir una diferencia de 13% en el gasto de combustible.”

Combustibles diferentes necesitan emparrillados distintos, y no hay ninguna clase de



Calderas Babcock y Wilcox de 688 m. c. de superficie de calefacción en el Ingenio Fortuna de Luciano G. Barbon, Alquizar, Cuba, instaladas en 1883 para quemar bagazo verde.

emparrillado que sirva igualmente bien para todos los combustibles. La compañía Babcock y Wilcox suministra con cada una de sus calderas el emparrillado más apropiado para la clase de combustible que se desea emplear.

Rendimiento de las máquinas.

Una caldera de la mejor clase, debe poder comunicar al motor el 75% de toda la energía encerrada en el combustible. Un carbon mediano produce por su combustión cerca de 7500 calorías; y, si deducimos el 8% de pérdida por la ceniza, quedan 6900 calorías.

Una caldera buena debe producir 5175 calorías por kilogramo de carbon quemado, por consiguiente, quemando un kilogramo por hora, se tienen disponibles 5175 calorías, que si se pudieran utilizar enteramente en trabajo de la máquina, darían una fuerza de $\frac{5175 \times 425}{270000} = 8,15$ caballos; lo cual representa un consumo de 0,123 por caballo-hora. Pero ninguno de los perfeccionamientos introducidos hasta ahora ha podido reducir el gasto á menos de 0,680; las máquinas utilizan, por consiguiente, á lo más, 18% de la energía producida por la caldera, mientras que el gasto por término medio es de 1,6 y corresponde á 7% de rendimiento efectivo. La pérdida de 93% es debida principalmente á la ineludible necesidad de abandonar el vapor en el condensador en un estado en que todavía retiene gran parte del calor que le ha sido dado en la caldera. Sin embargo es un hecho que gran número de máquinas gastan tres ó cuatro veces más para dar la misma fuerza, de lo que necesitan las máquinas mas perfeccionadas.

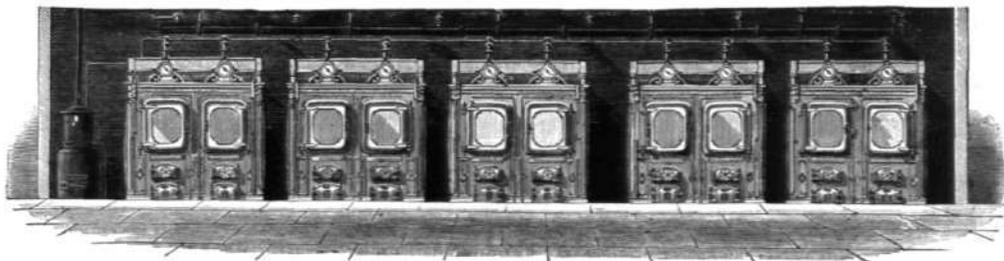
Es económico por consiguiente en general, emplear una máquina de primera clase. Si bien hay casos, sin embargo, en que la máquina debe usarse tan poco tiempo durante el año, que la economía en gasto de combustible no recompensa el interés de el coste de instalación

de una máquina moderna, y pueda ser mas ventajoso, desde el punto de vista de la economía, hacer uso de una máquina menos costosa, aunque su funcionamiento sea más caro.

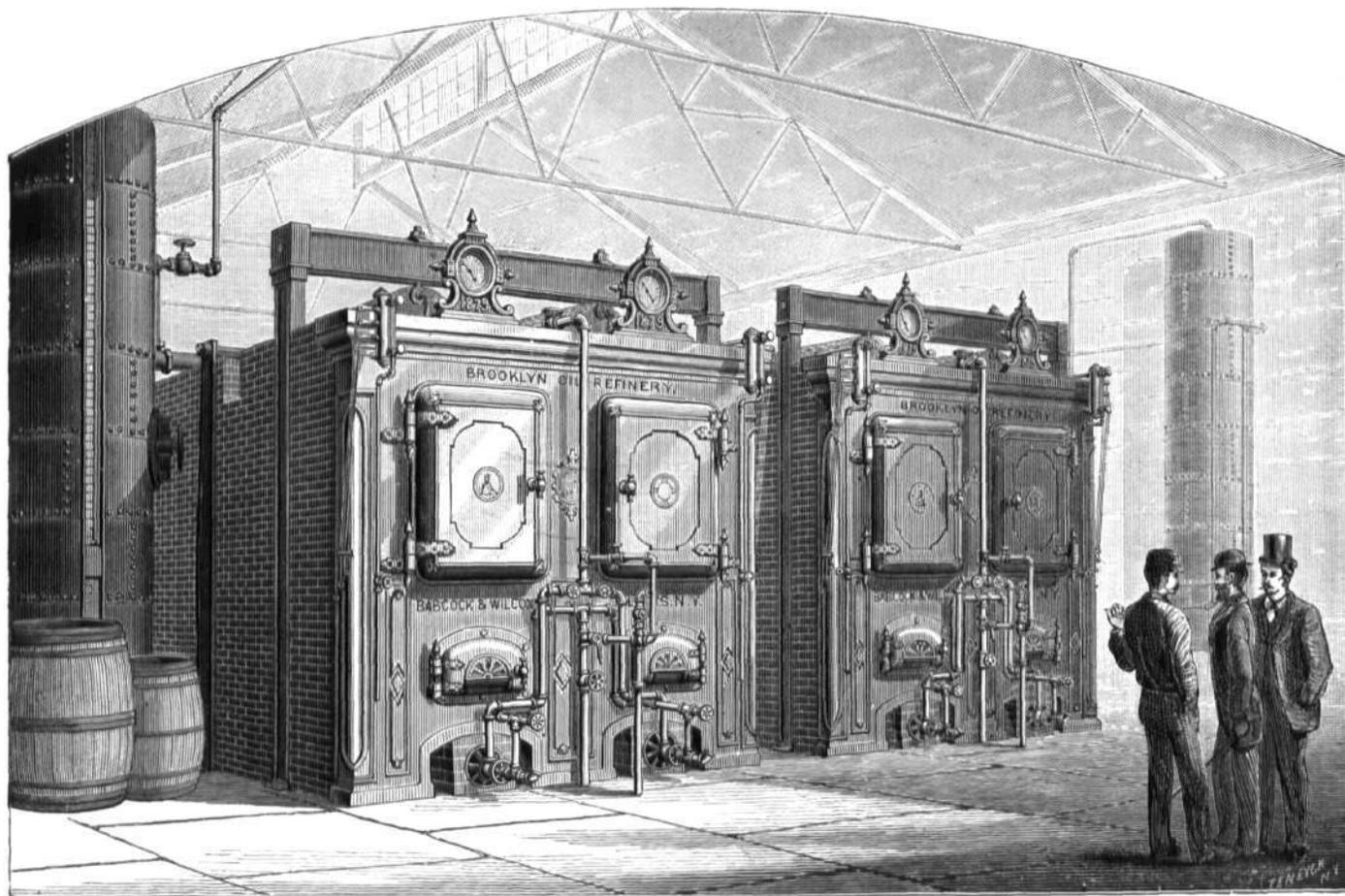
Las máquinas Compound, cuando se pueden emplear presiones elevadas, tienen ventajosa economía sobre las de un solo cilindro, y á veces las de "triple" y "cuádruple" expansión, en ciertas condiciones, son más económicas que las Compound ordinarias. Pero, para que los beneficios de su empleo sean seguros necesitan una presión de 7 á 14 atmósferas y una carga relativamente constante. Dichas presiones se pueden alcanzar con completa seguridad con las calderas Babcock y Wilcox.

Si en general una caldera grande es ventajosa, no es económico emplear una gran máquina para desarrollar una fuerza pequeña. Ocurre siempre aunque la máquina haga mas ó menos trabajo, que á cada embolada—ó golpe de pistón, el cilindro se llena de vapor á la presión final lo cual en muchos casos es más de lo necesario para producir la fuerza. Así pues, una máquina con un cilindro de 0,60 de diámetro y 1,20 de carrera, que haga 60 revoluciones por minuto, sin expansión, gasta una cantidad de vapor que representa la fuerza de 30 caballos únicamente en desplazar la presión atmosférica, sin hacer ningun trabajo útil. Por la misma razon la contra presión aumenta en mucho el precio á que resulta la fuerza.

"La mayoría de las faltas cometidas con el empleo del vapor provienen de dos causas, la avaricia y la ignorancia; avaricia por parte de los hombres que creen que las calderas y las máquinas baratas son económicas, y que estas y aquellas pueden ser conducidas por obreros dispuestos á trabajar por un jornal mínimo; ignorancia por parte de los que pretenden ser Ingenieros, y que á lo mejor solo saben poner en marcha y parar una máquina." *J. H. Vail, Director de la Compañía Edison de alumbrado eléctrico de Nueva York.*



Calderas Babcock y Wilcox en la Albany Railway (Electric), Albany, N.Y., instaladas en 1889.



Calderas Babcock y Wilcox en la Refinería de aceite de la Standard Oil Co.; 428 m. c. de superficie de calefacción, fueron instaladas en 1878 con aparatos para quemar el alquitrán ó el aceite de petróleo.