

Em. 1975
1996
Y

TRATAMIENTO
DE AGUAS PARA
CALDERAS DE
BAJA PRESIÓN.

PARTE I:
LOCOMOTORAS.

L. D. FORTA, Ing. Civil.
F. Ing. Energía, M. I. Mech. E.
Esc. Ben. CAI
Instituto Nacional de
Tecnología Industrial

Emitido: Buenos Aires Julio 1975

Revisado: Julio 1978

1 NOV 1982

Prólogo.

El presente trabajo ha sido escrito en 1975 con una revisión hecha en 1978. Resume el estado de los conocimientos disponibles al autor en esa fecha. La actual presentación incorpora algunas observaciones adicionales, pero no la actualización que podría resultar del incremento de información y conocimientos habidos desde entonces hasta hoy.

¿Porqué ha sido escrito? ¿No era que sobre tratamiento de aguas en calderas de baja presión - y de locomotoras en particular - "se sabía todo"? ¡Que esperanza! Un poco a modo de texto que limpiera ideas fuertemente arraigadas, y un poco a modo de exposición de lo que se cree son genuinos avances en el arte, el presente trabajo presenta un tratamiento para las locomotoras, describe los fenómenos que se dan en la caldera y proporciona una interpretación de los mismos que está bastante lejos de la tradicional, la que a veces me he calificado de burda (aunque respetable).

Esto es: que el tratamiento propuesto es ante todo la respuesta que el autor se da a sí mismo en su afán de proponer una tecnología de tracción de vapor de avanzada.

El lector apreciará que se ha escrito en el lenguaje coloquial de la especialidad, incorporando a veces expresiones propias del medio que condensan (muy significativo) materias de otro modo inexpresables.

Todo es relativo en la vida. El lector ha de entender que los adjetivos y adverbios tales como "muy bueno", "aceptable", etc. han de entenderse en relación al servicio ferroviario, el que se caracteriza por presentar exigencias y gozar de "ventajas" diferentes, por ejemplo, de las que se dan en el medio industrial, de las centrales eléctricas o a bordo de los barcos.

El autor sin embargo no se conforma con eso, ya que sabe que el auténtico progreso ha de referirse no a que las cosas se hagan cada vez mejor sino a los valores absolutos que impone su naturaleza.

Se lamenta que la interrupción, que se dio hacia el fin de la década del 50, en el cultivo de la técnica de las locomotoras de vapor haga que los potenciales destinatarios (otros que el autor mismo) de este trabajo no estén al corriente de la problemática objeto del mismo. Tampoco pueden aquí repetirse conceptos que han sido extensamente tratados en la bibliografía relativa a tratamientos de aguas. Análogamente, hay que lamentar que esos destinatarios no hayan tenido experiencia de manejo (footplate experience) COMO ERA OBLIGATORIO EN TIEMPOS PASADOS, razón por la cual muchos conceptos que son algo más que matices no pueden, como los colores y alegrías del dar a luz, ser comprendidos por quien no los vivió (es como aprender a navegar un bote a vela ¡por correspondia!).

501888

Referencias (*)

(1) PORTA, L.D.: "Note on the Flat Plated Stayed Firebox Construction for Locomotive Boilers Working at 30 and 60 at Steam Pressures". 1976, revised 1977, unpublished).

(2) HALL, R.E.: "A System of Boiler Water Treatment Based on Chemical Equilibrium". Ind. Eng. Chem. 17, 283-290 (1925).

(3) HALL et al.: "A Physicochemical Study of Scale Formation and Boiler-Water Conditioning". Bull 24, Carnegie Institute of Technology, USA (1927).

(4) HALL, R.E.: "Phosphate in Boiler Water Conditioning". J. Amer. Water Works Ass. 21, 79-100 (1929)

(5) HALL, R.E.: "Fundamentals in Conditioning of Boiler Water". Proc. Eng. Soc. of Western Pa., 41, 347-390 (1925).

(7) STRAUB

(8) STRAUB, F.G. "Solubility of Calcium Salts in Boiler Water". Trans. ASME 1932, FSP-54-17, pp. 221-230

(9) STRAUB, F.G.: "A Study of the Reactions of Various Inorganic and Organic Salts in Preventing Scale in Steam Boilers". Univ. of Illinois Engineering Experimental Station, Bull N° 283 (1936).

(10) STRAUB.

(11) GRAY: "Boiler Water Treatment: a Formula for the Control of Sludge and Scale in Internal (Continuous) Treatment". J. Inst. Fuel 30, 571.

(*) Copia de los trabajos no publicados o publicados pueden obtenerse del autor, L. D. PORTA, Azara 1557 Banfield 1828, Argentina.

(12) THURSTON & FURNIVAL: "Boiler Water Treatment, etc Experiments in Laboratory Boilers". J. Ind. Fuel 30, 565

(13) STRAUB & LARSON: "Decomposition of Dilute Sodium Carbonate Solutions at Temperatures Between 147°C and 242°C", Ind. Eng. Chem. 24, 1416-1419 (1932).

(14) SCHWEDER & FELLOWS: "Determination of Carbonate, Hydroxide and Phosphate in Boiler Waters".

Paper presented at the annual ASME meeting, New York, Nov 30, 1931.

(15) THURSTON, E.F.: "Experimental Plant for Studying Methods and Controlling Scale Formation in Boilers". Chemistry and Industry, July 10, 1965, pp. 1238-1243.

(16) BROOKS, CLARK & THURSTON. Phil. Trans. Royal Society 243, 145 (1950).

(17) HALL, R.E.: "A New Approach to the Problem of Conditioning Water for Steam Generation". Trans. ASME, July 1944, 437-488.

(18) HOMIG: "F-physiochemische Grundlagen der Speisewasser Chemie". Vulkan Verlag, Essen, 1963.

(19) BIKERMAN J.J. "Foams". SPRINGER Verlag, Berlin 1973.

(20) WELDER, B.Q. & PARTRIDGE, E.P.: "Practical Performance of Water-Conditioning Gadgets". Ind. Eng. Chem. 46, 954-960 (1954).

(21) HANCOCK, J.S.: "A Brief History of Locomotive Feed Water Treatment on the LMR of British Ry". J. I. Loco E., 41, Pt 3 (1957) paper 573, pp. 229-293

(22) PARSONS, A.J. "Some Aspects of Locomotive Boiler Feedwater Treatment" J. I. Loco. E., 47, Pt 3 (1957) paper 572, pp. 229-275.

(23) RICHARDSON, W.R.: "Report on Water Treatment on Locomotive and Industrial Boilers in Argentina". Expert of the British Council acting on behalf of the Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, Argentina, 1971.

- (24) SCHMIDT, YOUNG & SCHRADER: "Tests of a Mikado Type Locomotive Equipped with NICHOLSON Thermic Syphons". University of Illinois. Bull. 220, Feb. 1931. Ver tambien PORTA, L.D.: "The NICHOLSON Thermic Syphon: An Analysis of the Claimed Advantages". (Encos 1973, no publicado).
- (25) SENIFF, R.W.: "Steam Contamination by Aquaglobsejection". AREA Bull 446, Vol 46, p.57 (1944).
- (26) MILLARD & MATSON, Ind. Eng. Chem. 17, 685 (1925).
- (27) HALL, Mechanical Enging 46, 810 (1924).
- (28) TECHNICUS: Chemical Age 20, 443 & 465 (1929)
- (29) FOULK: "A Theory of Liquid Film Formation". Ind. Eng. Chem. 21, 815 (1929).
- (30) FOULK, Mech. Engineering 48, 1364 (1926).
- (31) FOULK: "Foaming of Boiler Water". Ind. Eng. Chem. 16, 1121 (1924).
- (32) JOSEPH & HANCOCK: J. Soc. Chem. Ind. 46, 315 T (1927).
- (33) HANCOCK: J. Soc. Chem. Ind. 47, 369 T (1930).
- (34) BEHRMAN, Ind. Eng. Chem. 21, 817 (1929).
- (35) FOULK & HANSLEY, Ind. Eng. Chem. 21, 817 (1929).
- (36) BIKERMAN, como (19).
- (37) Locomotive Cyclopedia, 1947 edition, SIMMONS - BOARDMAN Pub. Co. New York 1947, p. 350-351.
- (38) PARTRIDGE & PURDY: "Water Conditioning in Steam Generation". Ind. Eng. Chem. 31, 387-399 (1939).
- (39) PORTA, L.D.: Fig. A3.1, Ref (1).
- (40) THURSTON, E.F.: "Chemical Aspects of Boiler - Water Treatment". J. Inst. Fuel 39, 159-168 (1966).
- (41) RIVERS, H.M.: "Concentrating Films: Their Rôle in Boiler Scale and Corrosion Problems". Combustion, April 1952, p. 57.

- (42) GUNDERSON, L.O. & DENMAN, W.L.: "Polyamide Foam Inhibitors". *Ind. Eng. Chem.* 40, 1363-1370 (1948).
- (43) JACOBY, A.L. & BISCHMANN, L.C.: "Steam Bubble Formation". *Ind. Eng. Chem.* 40, 1360-1362 (1948).
- (44) PARTRIDGE, E.P. & SCHROEDER, W.C.: "Determination of Hydroxide and Carbonate in Boiler Waters". *Ind. Eng. Chem.* 4, 271-283 (1932) (Analytical Ed.)
- (45) STRAUB, F.G.: "Determination of Alkalinity in Boiler Waters". *Ind. Eng. Chem. (Anal. Ed.)* 4, 290-294 (1932).
- (46) ARMAND, L.: "L'entarrement des chaudières de locomotives à vapeur". *Rev. Gén. Ch. Fer*, juillet - Août 1943.
- (47) BARDWELL, R.C. & LAUDEMANN, H.M.: "Experience with Intercrystalline Cracking on Railroads". *Trans. ASME*, July 1942, 403-407.
- (48) ASME Transactions, July 1942.
- (49) PARTRIDGE, E.P.; KAUFFMANN, C.E. & HALL, R.E.: "Field Data from the Embrittlement Detector". *Trans ASME*, July 1942, 417-425.
- (50) SCHROEDER, W.C. & BERK, S.A.: "Summary of Papers Composing the Symposium on Embrittlement". *ASME Trans.* July 1942, 427-430.
- (51) BROOKS, R., CLARK, L.M. & THURSTON, E.F.; *Phil. Trans. Royal Soc.* 243, 145 (1950).
- (52) MARECAT: "Le traitement de eaux d'alimentation des chaudières de locomotives à la SNCF". *Rev. Gén. Ch. Fer* Nov 1948.
- (53) GINTRAC, L.: "Journée d'information sur le Traitement Interne Intégral des eaux de chaudières (TIA)". Document exposé de M. GINTRAC, Chef de la Section du Traitement des eaux au Centre Universitaire Méditerranéen, Nice, 21 juin 1956.

(63) CLARK & HUNTER: "The System $\text{CaCO}_3 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ at 159°C to 225°C and the Effect of Additions of Sodium Salts". J. Chem. Soc. 1935, 383-391.

(64) AAR Manual of Recommended Practice.

(65) DENMAN, W.L.: "US Patent 2,363,923 (1938)."

(66) GUNDERSON, L.O.: "US Patent 2,328,551 (1943)."

(67) BIRD, P.G. & JACOBY, A.L. "U.S. Patent 2,428,776 (1947)."

(68) DENMAN, W.L.: "U.S. Patent 2,439,797 (1948)."

(69) GUNDERSON, L.O. "U.S. Patent 2,442,768 (1948)."

(70) GUNDERSON, L.O. "U.S. Patent 2,461,730 (1949)."

(71) ICI, "British Patent 568,510 (1945)."

(72) ICI, "British Patent 568,318 (1945)."

(73) BODACH, C.M. & GUNDERSON, L.O.: "Organic synergists in Foam Control". Proc. Midwestern Power Conf. 13 (1951) pp 257-262.

(74) WILLIAMS, A.: "Carry-Over in Locomotive Boilers", ASME Trans. 1945, 197-211.

(75) PORTA, L.D.: "La Tracción de los ferrocarriles en el contexto de la crisis energética". Trabajo disertado en el XIII Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Caracas, Nov. 1975.

(76) TOPHAN, J. I. Loco. E., 1939.

(77) FAGER E.P. & REYNOLDS, A.H.: "Absorption of Oxygen by Alkaline Tannates". Ind. & Eng. Chem. 21, 357-359 (1929).

(78) PORTA, L.D.: "Fugas en la placa tubular N°1 de las calderas humotubulares. Informe N°1 (preliminar). Borrador de trabajo". Documento del Dto. de Termodinámica del INTI, Buenos Aires 1980.

X
(79) WITTE, F. *calceolaria almona*

(80) PORTA, L.D. "Steam Engine Cylinder
Trisology" (1975, unpublished).

Índice.

- 1 Introducción
- 2 Tratamiento de aguas para locomotoras.
- 3 Tratamiento carbonático interno.
- 4 Contaminación del vapor.
- 5 Corrosión - Fragilidad caústica.
- 6 Aplicación del tratamiento.
 - 6.1 Productos químicos agregados.
 - 6.2 Lavados de caldera.
 - 6.3 La función del químico.
- 7 Resultados obtenidos en la práctica.
- 8 Consecuencias en orden al proyecto y la operación de locomotoras.

Apendices

- A1 Métodos de control a nivel "depósito de locomotoras".
- A2 Diseño de la placa tubular.
- A3 Cristalizadores.
- A4 Notas adicionales.

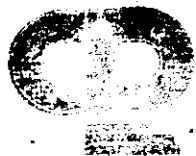
1 Introducción.

Este trabajo ha sido escrito como un capítulo de un libro en preparación por el autor, y cuyo título es "Ingeniería de Locomotoras de Vapor de Avanzada Frente a la Crisis Energética". Condensa su experiencia y su mejor conocimiento, mucho de lo cual ha sido tomado de la literatura técnica. Sin embargo, cree haber añadido su cuota de contribución al arte, especialmente en relación con la simplificación de su aplicación. Esta es ahora posible con sólo controles muy simples y gracias a una nueva filosofía que incorpora ideas muy osadas tales como "lo mejor es hervir una "sopa espesa" en la caldera que tenga muchos sólidos disueltos y en suspensión", etc.

La aplicación práctica ha sido llevada a cabo sólo en modesta escala en Argentina, cosa que, en la entonces prevalente política contraria a la tracción a vapor, se tradujo en enormes dificultades. Esto habla muy en favor del esquema propuesto, dado que ha soportado una confrontación con circunstancias extremadamente severas, la peor de las cuales ha sido la falta de una firme voluntad, por parte de los usuarios, de alcanzar un decidido éxito final.

El lector apreciará inmediatamente la preeminencia dada a la ... III

III-- a la ingeniería del tema dado que el autor es un ingeniero de desarrollo y no un químico. Cabe pensar de ha habido no poca dosis de suerte en la materialización de las osadas ideas que más adelante se describen; el programa de investigación y desarrollo que se detalla al final pinta claramente la necesidad de un más alto nivel en la fisicoquímica a fin de mejor consolidar los éxitos alcanzados en la práctica.



2 Tratamiento de Aguas para Calderas de locomotoras.

La ingeniería de segunda generación de locomotoras de vapor no puede ser concebida sin un tratamiento de aguas perfecto (*). Afortunadamente, Y NO TAL COMO SE PENSABA ANTERIORMENTE, (y aún hoy en no pocos círculos), ese ideal ha sido casi alcanzado siendo fácil acceder a él.

Las varias imperfecciones de un tratamiento no completamente satisfactorio pueden ser descritas como sigue:

- (a) La incrustación de las placas del hogar da lugar a más altas temperaturas en el metal, lo que causa fuertes sobrecalentamientos, tetones, fugas en los estays y juntas de los mismos, rajaduras en las soldaduras, erosiones, dilataciones no uniformes, pérdidas en la placa tubular, etc., para no hablar de serios disgustos para los operadores, fuerte mantenimiento, menor disponibilidad y confiabilidad, etc. Si se piensa en presiones mucho más altas (sea en hogares con placas planas con estays (PORTA (I)), o céntricas, --- III

(*) Generación a Vapor de Primera Generación es la que alcanzó su clímax en los años 50; de Segunda Generación es la que puede hacerse hoy incorporando los adelantos silenciosamente logrados en los últimos 25 años, y de Tercera Generación la que resultaría de un programa de investigación y desarrollo muy avanzado.

///---, las mismas son impensables a menos que pueda garantizarse una perfecta limpieza en todo momento.

La incrustación de los tubos da lugar a similares inconvenientes, lo que fuerza a adoptar una separación mayor entre tubos; esto reduce el área de pasaje de gas, la que es un parámetro muy importante en el diseño de la caldera.

Es bien sabido que el rendimiento de la caldera no se ve afectado por la incrustación, aun cuando fuere fuerte, en más de 2 ó 3%; pero esto, unido a la necesidad de incrementar el tiro, disminuye la óptima performance de la locomotora.

(b) la corrosión exige un (de otro modo innecesario) agregado al espesor del cuerpo cilíndrico (no en el caso de uniones remachadas); también da lugar a "pinchaduras" de tubos que se traducen en una menor disponibilidad, confiabilidad, etc. Es importante hacerse cargo de que cualquier fuga de agua, aun cuando fuere pequeña, se traduce en una seria reducción de la alta alcalinidad que requiere para un correcto tratamiento. Los gastos de mantenimiento se incrementan, por supuesto, con la corrosión. Las placas del tanque del tender requieren frecuentes parches y un sobreespe-
nor, todo lo cual agrega "fierro" --- ///

III--- que es paseado de aquí para allá a costa de la carga que paga flete.

(c) la contaminación del vapor se extiende sobre un amplio rango que va desde una pequeño arraste que pasa desapercibido hasta fuertes arrastres que impiden a la locomotora desarrollar la potencia para la cual ha sido proyectada. En tanto que la gente que trabaja con las máquinas mira con disgusto los arrastres que aparecen en forma de visibles chorros de agua en la chimenea, no existe análoga conciencia sobre las pequeñas, imperceptibles, contaminaciones que afectan la perfecta pureza del vapor. A la larga, cosa que en una explotación intensa significa unos pocos meses de trabajo, se forman incrustaciones en los elementos sobrecalentadores; se produce un mayor desgaste en los aros de válvulas y pistones dada la naturaleza abrasiva de los cristales de CaCO_3 que provienen del agua de ca'dría; las temperaturas del metal de los sobrecalentadores se incrementan en su lugar a fisuras y corrosiones causadas por las cenizas anastradas en estado pastoso; menor resistencia a la fatiga contra vibraciones y elementos "cintados" especialmente en las soldaduras; menor disponibilidad y confiabilidad;

--- III

III fugas en las juntas de los elementos con el colector; dilataciones desparejas en las distintas ramas de los elementos en razón de las mayores temperaturas; depósitos que impiden el libre movimiento de los conos de válvula y pistón en sus ranuras, lo que incrementa las fugas de vapor afectándose la potencia y economía de la máquina; rugosamiento de los pasajes de admisión y escape de vapor y disminución del área de pasaje e incremento de las pérdidas de carga, etc.

Después de lo que antecede, ¡es sorprendente que nadie haya dado una razonable explicación del hecho de que la performance se deteriora con el kilometraje!

El vapor imperceptiblemente contaminado, y padre de todas esas calamidades, también afecta los accesorios de caldera y pasajes de vapor; entorpece el comportamiento de los conos del ejector del feno al vacío, así como el de los delicados órganos del motor-pesor del feno de aire comprimido, con lo que se afecta el buen funcionamiento del conjunto del equipo de feno. Esto da lugar a feno que se arrastran, menor velocidad en el tren, falta de cumplimiento de los horarios, --- III

III-- aumento en el consumo de combustible y agua (lo que se traduce en paradas extras para tomar agua), erosiona las empacaduras de los vástagos de válvula, etc. Todas esas dificultades sólo pueden tener fin enviando la locomotora prematuramente a los talleres centrales para su reparación (no antes), si es que se quiere evitar su forzoso empleo en servicios secundarios dado que su performance general no es suficiente para garantizar los valores de diseño.

Hablado con rudeza, ese "envenenamiento" lento reduce en no menos de 10% el kilometraje entre grandes reparaciones y en 15% la potencia que es posible obtener al final de ese (reducido) kilometraje.

(d) La fragilidad cáustica produce roturas en una variedad de elementos: bulones, bridas, etc. para no mencionar las chapas de caldera. Tres son las condiciones que necesariamente deben darse en forma simultánea para que se induzca la fragilidad cáustica:

* una fuga de agua (*), tan pequeña como sea necesario para que se produzca una solución concentrada de NaOH;

(*) "fuga" es el concepto tradicionalmente empleado por suponerse que no hay ningún otro mecanismo de concentración, lo que no es cierto. Puede haber también concentración en una película evaporante.

- * fuertes tensiones en el punto en el que el agua se concentra, y
- * que el agua sea, por su composición, fragilizante.

En tiempos pasados ocurrieron desastres de distintas clases motivados por la fragilidad cáustica, siendo las uniones remachadas proclives a este tipo de fallas dado que ofrecen la posibilidad de que se den dos de las condiciones antedichas: (i) pequeñas, concentran-tes, fugas y (ii) altas tensiones. No obstante, ha de verse que en la Argentina no se han conocido tales desastres, lo que se explica quizá por el hecho de que siempre se ha usado tanino (ver más adelante).

3. Tratamiento Carbonático Interno.

Los fenómenos fisicoquímicos que ocurren en la formación de incrustaciones han sido (y son) constantemente estudiados. Los nombres de HALL y STRAUB (2) a (10) son bien conocidos en razón de sus trabajos pioneros. THURSTON y GRAY (11)(12) también han hecho importantes contribuciones en este campo, las que han servido de base a la forma del tratamiento que aquí se presenta (*). Ambos autores han mostrado que si se mantiene un mínimo de 200 a 300 ppm de Na_2CO_3 en todo momento en el agua de caldera, no se forman ni incrustaciones ni corrosiones. Dado que normalmente un 50% de la alcalinidad total (como CaCO_3) se disocia, esto significa que ≈ 600 ppm de alcalinidad total debe siempre existir a título de mínimo absoluto (11), o, lo que es equivalente, unas 450 ppm de alcalinidad a la fenoftaleína. Estas relaciones son algo diferentes en el caso de aguas naturales que tienen exceso de alcalinidad (bicarbonatadas) dado que la presión parcial del CO_2 en la cámara de vapor desplaza el equilibrio hacia una menor ionización del Na_2CO_3 (13). Ha de notarse que el clásico ensayo con fenoftaleína y heliantina da falsos resultados en las aguas de caldera, especialmente en lo que se refiere al contenido de carbonatos (14). En otras ---/11

(*) se omitió, por conocida, la descripción del tratamiento interno carbonático clásico.

///--- palabras, lo que se da como "carbonato" no es la cantidad que realmente está contenido en el agua que está dentro de la caldera, sino un modo de hablar.

Un punto en el que THURSTON y GRAY insisten (11)(12) es el de la necesidad de que el lodo de CaCO_3 sea muy móvil y fácilmente redispersable después de un asentamiento prolongado. GRAY (11) estableció que, cuando la humedad del depósito decantado excede de 75% luego de dos días de asentamiento, se da una buena movilidad. En esto, se encontró que la presencia de Mg era esencial, a tal punto que no se vaciló en recomendar el agregado de tanta pureza magnésica cuanto fuera necesaria para alcanzar esa movilidad. La cantidad de Mg necesario viene dada por la ecuación

$$X_s = \frac{100}{\text{CaO}} (0,46 \text{ MgO} - 0,62 \text{ SiO}_2) \geq 7$$

(las cantidades han de calcularse como % en peso).

Un valor $X_s = 4$ debe considerarse como un mínimo absoluto. En la práctica, la mayoría de las aguas naturales contienen Mg y no consecuencia no habría porqué agregar magnesio.

Sin embargo, y conforme a la experiencia práctica, del autor, el agregado de taninos y de hexametáforato de Na permite bajar el valor del índice X_s a menos de 4.

---///

///-- El lodo resultante se caracteriza porque se asienta rápidamente en una masa esponjosa, la que, aun cuando sea evaporada a sequedad, es fácilmente redispersable.

Contrariamente a lo que ocurre con las calderas fijas, las calderas de la locomotora son alimentadas con aguas de composición muy variable. Tampoco pueden ser objeto de un seguimiento químico adecuado. Por ello no hay otra alternativa que permitir que la alcalinidad del agua de caldera juegue dentro de límites muy amplios por encima de un mínimo absoluto de 300 ppm de carbonato en forma de tener siempre una reserva de alcalinidad que sirva de "colchón" a la variable dureza del agua de alimentación. Esto trae aparejados un incremento en el TSS (total de sólidos solubles) y también en la cantidad de sólidos en suspensión, condiciones ambas favorables a la contaminación del vapor; esta fue una dificultad que apareció inicialmente con la aplicación del TIA en Francia.

Es una gran fortuna, a esta altura de las cosas, que los nuevos y poderosos anti-bullicivos que desde 1940 se hicieron hayan entrado en la escena. Esto constituye un hito, una frontera, tanto en la teoría cuanto en la aplicación del tratamiento de aguas, la que puede dividirse en dos eras:

- antes de los anti-bullicivos, y
- después de los anti-bullicivos.

Tal como se veía más adelante, los anticiclucios permiten jugar con la composición tanto del agua de caldera cuanto de alimentación dentro de límites hasta ahora considerados sacrilegos.

THURSTON y GRAY han asimismo propuesto un mecanismo según el cual la dureza es precipitada en la masa de agua de la caldera.

Durante el proceso de mezcla y simultáneo calentamiento, el agua que entra se sobresatura de CaCO_3 . Este estado inestable se resuelve por la formación de nuevos núcleos de cristalización y por el crecimiento de los cristales existentes.

Es por ello que la introducción debe hacerse por debajo del nivel de agua conforme fuera adoptado por los ferrocarriles franceses. En ese caso, el agua que entra gana simultáneamente temp. y alcalinidad durante el proceso de mezcla que se da con el agua fuertemente alcalina de la caldera.

THURSTON (15) lo ha expresado así:

" Es conveniente exponer lo que se sabe ahora
" sobre los mecanismos de la formación de incrus-
" taciones en las calderas y su relación con los
" resultados de las experiencias hechas en cal-
" deras experimentales. En el caso de la
" mayor parte de las calderas de vapor presión,
" las razones que antes se daban para explicar
" la formación de incrustaciones en las super-
" ficies de calefacción no eran tales. Es así
" que las incrustaciones no se forman princi-
" palmente por evaporación, como que, --- - - - -///

III--- en muchas calderas en servicio cuanto
de laboratorio, tanto las superficies no calen-
tadas cuanto las calentadas se reciben de
iguales depósitos. Ello prueba que esa
formación de incrustaciones no se debe (según
se suponía) principalmente a la menor solubili-
dad de las sustancias incrustantes en la
película líquida calentada por contacto con el
metal caliente. La formación de incrusta-
ciones en las calderas es en gran parte una
manifestación del estado de sobrecaturación
del agua de la caldera que resulta de la
mezcla del agua de alimentación que contiene
calio y magnesio con un precipitante tal como
el Na_2CO_3 o el NaOH o, en el caso de calderas
de más alta presión, el fosfato de sodio.
Se da una nucleación y también un crecimien-
to de los cristales, parte sobre el material
adherido a las paredes, parte sobre las parti-
culas en suspensión en el agua de caldera.
A veces, las partículas que se mueven libremente
(en la masa líquida) al tocar una superfi-
cie quedan adheridas, ayudando (luego) el
crecimiento cristalino a cementarlas en una
masa sólida. En tal situación, es evidente
que todo lo que afecte los procesos de nuclea-
ción y crecimiento puede afectar los de forma-
ción de incrustaciones: este es el modo según
el cual se supone actúa el magnesio. En
su ausencia, el CaCO_3 precipita en las cal-
deras en forma de cristales relativamente
grandes, en su mayoría de calata. En ---III

" III... su presencia se forman pequeños cristales,
" de calita en suspensión, los que compiten
" con el material adherido a las superficies de
" calefacción para atrapar el calcio entrante,
" dando así lugar a la formación de un
" lodo abundante y a poca incrustación. ----
" Se sabe (51) que los iones de magnesio
" influyen fuertemente en la cristalización de
" la calita. (----) La sobresaturación varía
" mucho de lugar a lugar (en la caldera), así
" como en el tiempo, lo que depende mucho
" de la forma en que se hace la mezcla
" en la zona de introducción."

Esta cita de THURSTON debe ser complementada con otra del mismo autor en la referencia (15):

" La observación (en la caldera de laboratorio)
" de que las aguas de alimentación muy blan-
" das no responden tan convincentemente al
" tratamiento basado en el magnesio (*), ha
" encontrado sólo una confirmación parcial
" en las calderas en servicio. En este caso,
" sólo cuando la dureza era realmente muy
" baja la adición de magnesio no mostró
" ninguna mejora apreciable; sin embargo,
" la velocidad de formación de incrustaciones
" era en todo caso muy pequeña." Se sugiere
" porque la cantidad de material incrustante
" era también pequeña.

Se deduce, de lo que precede, --- III

(*) (propuesto por THURSTON & GRAY, de la ICI).

II- que el tratamiento carbonático por fuerza no da incrustación "cero" dado que los cristales adheridos a las paredes también tratan de crecer a expensas del licor madre. Por lo tanto, el esfuerzo ha de orientarse a reducir la sobresaturación de ese licor madre (el agua de caldera), lo que impone suprimir la sobresaturación que genera (el agua entrante) lo más cerca que sea posible del punto de introducción. Esto puede alcanzarse si las condiciones de nucleación (que dan lugar a la formación de nuevos cristales) y las de crecimiento son tales que ambos procesos ocurran a la máxima velocidad posible. De esa manera, cuando la mezcla de agua de alimentación y de caldera se ponga en contacto con las superficies de calefacción, quedará muy poca sobresaturación remanente dado que por entonces todo el material sobresaturante habrá ya pasado a formar nuevos cristales o a incrementar el tamaño de los que estaban presentes antes de la mezcla.

La condición de incrustación "no-cero" impone por otra parte, la necesidad de alguna forma de limpieza "mecánica" que toma la forma de los así llamados "lavados de caldera". Estos, continuamente a lo que ocurría en el pasado, constituyen ahora puertas fuera de servicio considerablemente espaciadas; por supuesto, son incapaces de remover el material fuertemente adherido y sólo quitan el que está más o menos suelto. Es --- III

III--- así que, teóricamente, una caldera no puede mantenerse indefinidamente bajo presión dado que los cristales adheridos al metal también crecen. Sin embargo se ha podido comprobar en la experiencia práctica habida en las muy adversas condiciones descritas en la sección 6.2, que los lavados de caldera podían haberse reducido a dos por año. Esto hubiera significado un gran progreso en la técnica ferroviaria.

El problema, en consecuencia, es uno de tener bajo control la cristalización del agua que entra. Hasta ahora, nada se ha hecho bajo este concepto excepto efectuar la introducción debajo del nivel de agua.

El apéndice A3 muestra una propuesta para traer dicha cristalización bajo control, cosa que puede ser necesaria en futuros desarrollos de la técnica de las locomotoras de vapor.

Existe otro fenómeno: las leyes de la transmisión del calor imponen un sobrecalentamiento del agua que conforma la capa límite que está junto a la superficie calentada. (HALL (17)).

Esto puede acarrear un considerable aumento de la concentración de los solutos, en tanto que el proceso de evaporación concurre a ello con una acción similar, no sólo sobre esos solutos, sino sobre los sólidos en suspensión.

HOMIG (18) menciona una concentración 100 veces mayor que la del agua en caldera a título de valor posible en la práctica (ver también RIVERS (41)).

La incrustación propiamente dicha ha de ser diferenciada del lodo adherente, bien que ambos resulten en un mismo efecto aislante sobre las superficies de calefacción. Por lo tanto el problema no es solamente el de evitar la incrustación, sino el de evitar el pegado de los lodos que resultan de la precipitación de la dureza en el licor madre (el agua de caldera), así como el de la aglomeración de los cristales en grandes masas que pueden asentarse en ciertos lugares (aun cuando no se adhieran a las paredes) entorpeciendo la circulación. Es esencial que exista un cierto mínimo de sólidos en suspensión que sirvan de núcleos de cristalización para la dureza que entra. Para evitar el mencionado asentamiento de los lodos (que pudiera darse fácilmente cuando la máquina no trabaja), estos deben ser muy "móviles" y fácilmente redispersables al menor movimiento del agua. Como ésta es una condición sine-qua-non (la movilidad parece también estar relacionada con la no adherencia a las superficies), no existe pues (en un tratamiento correcto) eso que se llamaría "asentamiento en las partes inferiores de la caldera": el menor movimiento del agua es (¡debe ser!) causa de arrastre. Ciertamente, la caldera de locomotora está lejos de tener un contenido perezoso. Las calderas de locomotora tienen una circulación extremadamente vigorosa. El --- III

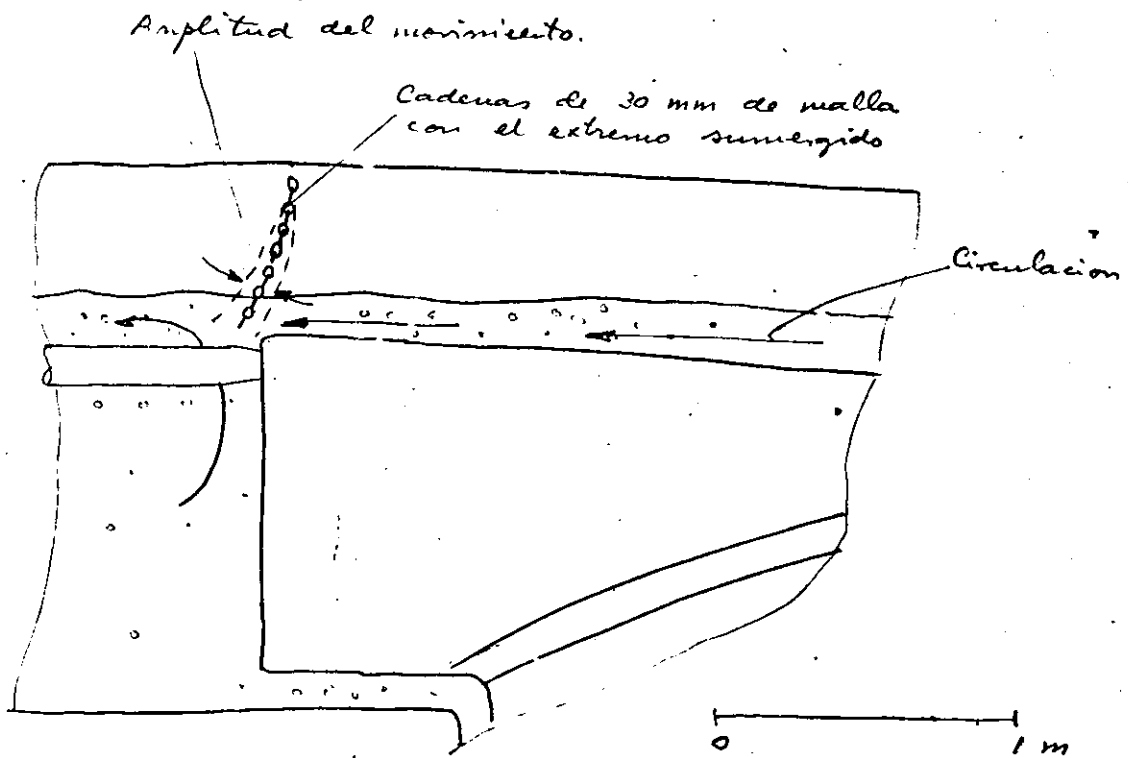


Fig. 1 Cadenas colgadas de la parte superior de la envoltura con el extremo sumergido para mostrar la violencia de la circulación (DEARBOR.V Chem. Co.).

///... autor recuerda haber visto una película de la DEARBORN Ch. Co. tomada dentro de una caldera en plena vaporización en la cual, para mostrar la fuerza de la corriente, se suspendieron cadenas desde la parte superior, cuyos extremos inferiores penetraban bajo el nivel del agua. El peso de las cadenas puede juzgarse por el tamaño de los eslabones (unos 30 mm), en tanto que el desplazamiento respecto de la vertical era algo así como el mostrado en la Fig. 1.

Por lo tanto, si bien no hay nada de malo en colocar los robinetes de purga en las partes más bajas, vana es la esperanza de que esta posición de lugar a una mejor extracción de lodos cuando la caldera trabaja. También puede apreciarse que cualquier purga continua (como es el caso de una pequeña pérdida) hará su efecto no solamente sobre los sólidos disueltos, sino también sobre los que están en suspensión. De hecho, si se tratara de quitar una mayor proporción tanto de sólidos disueltos cuanto en suspensión, la purga debiera ser tomada de la capa de espuma, dado que ésta es un concentrador (19).

Es sabido que éste era un truco de los viejos maquinistas, quienes hacían soplar violentamente las válvulas de seguridad (con la caldera "bien llena" para "limpiarla").

En Rusia se usó alguna vez un colector flotante que daba buenos resultados para las
---///

!!!... condiciones imperantes en su momento (esto es mencionado sólo a título informativo (...)).

Sin embargo, a pesar de que los sólidos en suspensión en el agua de caldera son difíciles de asentar, una ubicación inferior del robinete de purga es útil para facilitar la salida de cualquier cáscara (vieja o reciente) que se hubiera producido; esto es ventajoso en el período inicial de la aplicación del tratamiento a una caldera incrustada.

Una importante implicancia de todo lo que precede es que si el balance químico impone la adición de grandes cantidades de productos químicos (p.ej. Na_2CO_3), ello debe hacerse (*). El miedo de agregar no más que pocas cantidades fue "lavado del cerebro," en una cierta ocasión, cuando los técnicos de tratamiento de aguas presentes en la experiencia vieron agregar de un solo golpe 500 kg de NaCl a la caldera para llevar el TSS a 34 000 ppm a título de prueba (operación que se repitió luego diariamente) sin que nada catastrófico ocurriera. Es posible que agregar Na_2CO_3 por bolsas sea un problema económico, pero no técnico. En el presente estado de los conocimientos del autor, no existen "polvos mágicos" que curan los problemas de aguas, sino que para ello es menester lo que exige la química. WELDEP et al. (20) han hecho una compleja investigación de los "polvos" que se dieron a lo largo de la historia del tratamiento de aguas. (*) conforme lo reclaman las ecuaciones químicas.

Toda vez que la composición del agua de caldera esté por encima de un mínimo de alcalinidad carbonática, no debe ser materia de preocupación el que el agua de alimentación sea muy dura. De hecho, la precipitación se ve facilitada cuando esa dureza es alta porque ello hará que la sobresaturación sea también alta. El concepto de "aguas difíciles" (o "muy poco convenientes") como algo asociado con una alta dureza ha dejado ahora de tener sentido aún cuando sea un problema económico. Y como que las aguas con menos de 18°f de dureza han sido descritas como "incrustantes" ("scale forming", Ref (21), p. 255), en tanto que la alta dureza ha sido invocada como una de las claves del éxito del tratamiento TIA de los ferrocarriles franceses (Ref. (21), p. 257). En el caso de aguas naturalmente alcalinas, el tratamiento a aplicarse será sólo correctivo, en tanto que en aguas que contienen un exceso de dureza, el faltante de Na_2CO_3 ha de ser agregado.

Hasta aquí la cosa, ha de insistirse en que lo que fundamentalmente cuenta es la COMPOSICIÓN DEL AGUA DE CALDERA y no la calidad de la alimentación, esto como sustancialmente diferente de lo que se pensaba en el pasado. Esto último era una intuitiva consecuencia de la experiencia práctica: dado que los (malos) efectos se...///

III... correlacionaban con la calidad del agua, esto daba lugar a concentrar la atención en esta última. Por el contrario, la filosofía que aquí se preconiza es la de casi olvidarse de los análisis del agua de alimentación. De hecho, durante una larga campaña de experiencias llevada a cabo por el autor en Argentina (FCGB), deliberadamente no se hizo ningún análisis de agua de toma a título de dar una prueba concreta de la afirmación que se antecede, aún cuando la locomotora piloto trabajó "por todas partes".

La experiencia práctica del autor ha indicado que, por lo menos en condiciones controladas, ha sido posible trabajar con el agua de caldera hasta los límites que siguen:

- total de sólidos solubles, = 58 000 ppm;
- alcalinidad total (metil orange), = 3 000 ppm (en CaCO_3), y
- materia en suspensión: \approx 50 % en volumen en la botella de muestra luego de dos horas de asentamiento, ---

--- esto con un vapor conteniendo menos de 2 ppm de contaminación, trabajando a máxima potencia en el "vidrio lleno" (16 000 kg h⁻¹ de vapor a 14 atc producido en una cámara de \approx 1,5 m³ de volumen).

Ese cuadro ha de complementarse con el trabajo con aguas que contienen arcilla en suspensión en cantidad --- III

III.- tal que las hace parecer "chocolate". Esta materia en suspensión, de naturaleza diferente de la que resulta de la precipitación de la dureza, es un mero elemento en el panorama.

Debe ser considerado porque, a veces, una agua que la contenga puede ser la única alternativa posible para mantener los trenes en servicio. Hasta ahora, la experiencia del autor ha mostrado que tales aguas no causan problemas en tanto que la composición del agua de caldera permanezca dentro de los siguientes amplios límites:

- total de sólidos solubles, 10 000 a 20 000 ppm;
- alcalinidad total, 1000 a 3000 ppm (en CaCO_3).

Ha de llamarse la atención a la ausencia de otras especificaciones usuales para el agua de caldera: dureza, pH, etc., las que, refiriéndose a características relacionadas entre sí, son función de las arriba mencionadas. Estas han sido elegidas (y sólo dos de ellas) dado que hay sólo dos acciones correctivas posibles, esto es (i) las purgas y (ii) la adición de Na_2CO_3 . En otras palabras: no puede darse un número de especificaciones mayor que el de los grados de libertad impuesto por la naturaleza del tratamiento carbonático.

Una implicancia derivada de las anteriores cifras es que el control químico del agua de caldera basta sea hecho de un modo "grosero" dado que los límites entre ---III

III-- los cuales puede jugarse son muy amplios. Un control preciso, seguido de cerca, además de ser innecesario, sería muy difícil de organizar para las locomotoras. De hecho, tales especificaciones para el agua de caldera sólo son posibles gracias a los antiembullidores de que hoy se dispone.

Se ha encontrado que la adición de fosfato mejora la floculación dando un precipitado esponjoso. Si se hace en forma de hexametáfosfato de sodio, se impide la precipitación de las sales de calcio en el tender, líneas de alimentación, pre-calentadores de agua (esto sólo hasta cierto punto), etc., lo que es esencial para su correcto funcionamiento.

Un trabajo de THURSTON y FURNIVAL (12) muestra también una buena promesa en la aplicación del tratamiento carbonático a las calderas de alta presión, cosa que será inevitable en la tecnología de la tracción de vapor "de tercera generación". En ésta, la importancia de la eficiencia térmica hará que presiones del orden de las 60 atm deban ser consideradas.

Una interesante experiencia práctica ha sido la de dejar inmóvil durante dos meses una caldera cuya agua contenía una gran cantidad de materia en suspensión y cuyo tratamiento era el aquí preconizado. Tras ese tiempo, la locomotora en cuestión fué encendida tan aceleradamente como fué posible, levantándose presión en 15 min --- III

III--- con la ayuda de tiraje auxiliar (combustion de fuel oil), sin que pudiera detectarse ningun indicio de daño. La locomotora no tenia practicamente protección de repactarios para las chapas del hogar. Este procedimiento "sacrilego" - se piensa - es posible gracias a que el lodo resultante del tratamiento tenia buena movilidad, esto es: que su humedad estaba por encima de 75% aún despues de dos meses de asentamiento(*) Por ello, las corrientes de convección natural que se dan durante el encendido han podido redispersado ya apenas luego de los primeros movimientos. El experimento fué repetido con las mismas características en laboratorio en un simple vaso de precipitación.

El tratamiento propuesto también incluye, por razones que se comentarán más adelante, tamino. En lo que hace a evitar las incrustaciones, el autor piensa que su accion es también la de impedir el "pegado" de los cristales de CaCO_3 entre si, con lo que se incrementa su número y consecuentemente la superficie ofeida a la deposición de la dureza entrante mediante el mecanismo del crecimiento de cristales. En el agua de caidera, sus particulas de tamaño coloidal también ofecen nuevos núcleos a esa dureza de modo de promover el nacimiento de nuevos cristales.

(*) los valores usuales son 88 a 93%.

El autor no cree estar ahora preparado para hacer frente ahora a las innumerables objeciones que resultarían de las varias filosofías e ideas que han prevalecido en el pasado. Muchas veces se ha escuchado la opinión de que una caldera de locomotora no es un reactor químico. La respuesta es que las calderas de locomotora, especialmente las que responden a diseños del autor, presentan aptitudes para trabajar correctamente tanto como productores de vapor cuanto como reactores químicos. De allí que la fisico-química precedentemente descrita, aún cuando deje mucho que desear, es sin embargo suficiente para dar, a los efectos prácticos, calderas limpias, sin incrustaciones. Este punto de vista ha sido entusiastamente compartido por RICHARDSON (23) quien ha descrito la costosa e insatisfactoria experiencia habida en Gran Bretaña con varios tratamientos clásicos. RICHARDSON ha inspeccionado de cerca los trabajos del autor (21)(22).

El tratamiento TIA de los ferrocarriles franceses ha sido ampliamente descrito en la literatura. MARECAT (52) da una relación de la cual se extraen los puntos que siguen. Los productos químicos se dosan en función de un agua promedio que cada locomotora encuentra en su ciclo de trabajo; no "desincrusta" las incrustaciones existentes, pero produce fisuras que progresan hasta que pedazos ---/11

///--- de cáscara se desprenden (cabía agregar que la presencia de iones carbonato en el agua solubiliza la parte sulfática de las incrustaciones dejando un esqueleto que se despega fácilmente). Cuando se provee de los aparatos de rosado a una locomotora, se practica previamente una desincrustación ácida en tanto que, durante los primeros tiempos de la aplicación, se hacen frecuentes lavados de caldera durante los primeros dos o tres meses.

La aplicación del TIA prevé una buena precisión en el control químico (Ref (52), capítulo II, sección A). El régimen de purgas es de 5 a 8 %. Contrariamente al sistema inglés de tratamiento carbonático interno, las purgas se hacían inicialmente en viaje cuando la locomotora trabajaba fuerte, ya que se pensaba que esto era más efectivo para la eliminación de los lodos (sin embargo, más tarde se dispuso que las purgas se efectuaran en los depósitos). Se descartó la purga continua. Las válvulas de purga eran desmontadas, limpiadas y probadas (sorprende) en cada lavado de caldera. Todo lo concerniente al tratamiento se concentró en una sola mano, etc.

GINTRAC (53) ha mostrado los notables resultados alcanzados con la primera 141 R que llegó a 1.000.000 km bajo el régimen del TIA. Una tabla que sigue detalla los notablemente reducidos trabajos de mantenimiento llevados a cabo a los 1.000.000 y 2.000.000 km.

Trabajos de mantenimiento de caldera de tres locomotoras 141 R del depósito de Niza.

(Incluye datos tomados de la Ref (54)).

Loc. N°	kilóm. acumul. bajo TIA	Trabajos de manten. de caldera	horas hombre
141 R 1156	985 000	Cambiar un estay roto. Cambiar un tubo grande fisurado	10,9
	1985 000	Cambiar 118 tubos chicos. Cambiar 21 tubos grandes	300
141 R 1158	1 001 362	Cambiar un tubo chico fisurado. Cambiar dos tubos grandes rajados.	29,4
	2 015 000	Cambiar 79 tubos chicos. Cambiar 22 tubos grandes. Soldar tubos en la placa.	280
141 R 1159	985 231	Cambiar un tubo grande rajado. Cambiar 7 estays con casijas erosionadas. Reparar algunas fisuras en el sifón.	20
	2 016 000	Cambiar 89 tubos chicos. Cambiar 33 tubos grandes. Repasar la soldadura o las placas de 39 tubos chicos y 28 tubos grandes.	240

Kilometraje total: 6 016 000 km; total de horas-hombre: 800; horas hombre por 1000 km:

0 15 h/h / 1000 km. La "remise en forme de têtes d'enfutoises" (relleno de casijas de estay) no ha sido incluida porque el autor estima que no es necesaria. Los trabajos requeridos por las inspecciones exigidas por el decreto del año 1926 no han sido incluidos por no considerarse necesarios así el estado de conservación de las calderas, aún de considerarse exigencias legales propias de una era anterior a buenos tratamientos.

Es obvio que los trabajos de mantenimiento requeridos en 2 000 000 km son fantásticamente reducidos, lo que habla del éxito de un tratamiento practicado sobre locomotoras que hacían un servicio muy duro en la Costa Azul. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que se trataba de locomotoras construidas según normas americanas que el autor considera muy buenos. GINTRAC menciona que los lavados han sido hechos cada 16 a 20 000 km (esto es cada 250 h de trabajo en la línea). La composición media del agua de alimentación ha sido aproximadamente (54):

- dureza total, 320 ppm (en CaCO_3);
- dureza permanente, 110 " "

Algunas aguas duras de los ferrocarriles franceses eran, por ejemplo:

Toma	Dureza, ppm CaCO_3	
	total	permanente
Louvres (Nord)	900	500
Jardanne (Méditerranée)	590	250
Chantilly (Nord)	540	230
Arvicourt (Est)	450	190
Benestroff (Est)	370	170

El tratamiento ha previsto los lavados regulares antedichos, pero algunas locomotoras han estado en posesión hasta 5 meses (*). Los trabajos de mantenimiento comparados con los que se daban anteriormente (*). a título de prueba.

///--- con el tratamiento "cal-soda" se redujeron a
--- una centésima parte!

KIEKEN y VIALA (54) han informado sobre el estado de las locomotoras al cabo de 2000 hrs km. El autor puede certificarlo porque ha visto con sus propios ojos las calderas.

En lo que hace al tratamiento que adoptaron los F&CC Británicos y que fuera desarrollado en colaboración con ICI, se envía al lector a las referencias (21) y (22). Se trata de un tratamiento carbonático en el cual los productos químicos se agregaban mediante un dosador muy simple colocado en el tender, lo que inspiró al autor un diseño más simple aún (ver más adelante). Por lo que se sabe, los principios básicos son los mismos que los del TIA, a los que se llegó sin embargo en forma independiente. RICHARDSON (23)

detalla los costosos fracasos que se dieron en una época previa a la muy criticada filosofía de "convertir las calderas en reactores químicos".

La experiencia del autor también ha registrado que, poniendo una fuerte solución de Na_2CO_3 en una caldera incrustada que esté fuera de operación durante varios meses, las incrustaciones viejas se transforman en un lodo blando.

Dado que el vapor contiene CO_2 resultante de la disociación del Na_2CO_3 , su condensado es ácido. En consecuencia cabe esperar se produzcan corrosiones a menos que se de la presencia de aceite proveniente de los cilindros.

Un notorio aspecto del precedente esquema es el de la desaparición del "control químico" según la significación usual de estos términos, esto es hecho por hombres "en guardapolvos blancos" que hacen análisis de rutina de sulfatos, cloruros, alcalinidades, dureza, etc. (*). Todo esto ha sido ahora sustituido por groseros ensayos de alcalinidad y TSS (ver procedimientos en el Apéndice A1). Lo mismo con la familiar imagen de las purgas frecuentes y cuidadosas. Los químicos pueden ahora tener el lugar que les es propio en los laboratorios centrales y regionales desde donde manejan la cosa, investigan en pos de refinamientos económicos, hacen frecuentes inspecciones, aseguran una disciplinada aplicación de las extremadamente pocas reglas que han de observarse, etc.

Puede tenerse alguna idea de la eficiencia del tratamiento, si se piensa que una locomotora de carga, de trocha angosta, que consume unos 200 dm³ de agua por km, la que tiene una dureza promedio de 10^{°F} (100 ppm CaCO₃), digiere unas 6 toneladas de material incrustante en 300 000 km.

La sílice (hasta 80 ppm en el agua de tender) es mantenida en solución gracias a una alta alcalinidad, aún cuando falta la teoría.

Las aguas de baja y media dureza total, por debajo de 18^{°F}, han sido ---!!!

(*) así se hace en el TIA.

III--- calificadas de "incrustantes" ("scale forming") particularmente si se les agrega mucho tanino o si presentan bajo exceso de alcalinidad, esto segun HANCOCK (Ref (21), p. 255), en tanto que "por encima de unos 18°F casi todas las aguas forman lodos" (la cita de la misma fuente). En la p. 257 (de la Ref (21)), se repite, se menciona que la alta dureza de las aguas francesas ha sido un factor importante del éxito del TIA. El autor que esto escribe cree que en Francia las aguas de baja dureza eran tratadas con fosfato; el mismo tratamiento ha sido mencionado por HANCOCK (Ref (21), p. 255) ser de aplicación en la LM Region de British Ry. En referencias tales como (21), (22), etc. tambien se menciona que las aguas blandas son muy difíciles de precipitar como lodos: en resumen, esto parece ser una definida dificultad, cosa que debe ser especialmente tenida en cuenta cuando se trate de locomotoras a condensación, aguas de regiones en las que son blandas o calderas industriales que trabajen con una baja reposición. En relación con esto, se ofrece la siguiente explicación. Inmediatamente después de la introducción, la mezcla de agua de alimentación con el agua alcalina de la caldera, la elevación de temperatura que ocurre simultáneamente produce una solución sobresaturada de CaCO_3 . Esto es, el agua de la caldera provee de cal. y alcalinidad. Si hay abundancia de dureza cálcica y de iones carbonatos (esto es fuerte alcalinidad),

---(61)

III-- la sobresaturación será elevada, por encima del límite de sobresaturación. Esto hará que se formen nuevos núcleos en gran cantidad (especialmente si hay un gran número de partículas coloidales de tanino), así como crecerán los cristales ya presentes (que vienen con el agua de caldera). Para cuando esta mezcla de agua de alimentación y de caldera llegue a ponerse en contacto con las superficies de calefacción, especialmente las que están lejos de la introducción, puede esperarse que la sobresaturación remanente sea muy pequeña, así como la probabilidad de formación de depósitos resultantes de una concentración en las películas que se evaporan. Por el contrario, si se introduce un agua de muy baja dureza y si la mezcla se produce con agua de baja alcalinidad, el potencial de cristalización disponible será pequeño y se formarán pocos núcleos, lo que resultará en un estado de mayor sobresaturación en el agua de caldera que precipitará cuando se concentre en las películas sobrecalentadas.

42
Va de muy que la descripción que puede carecer de un tratamiento cuantitativo (siquiera de primera aproximación) que la soporte, pero, por lo menos, permite dar pasos en la dirección correcta. Una vez que el miedo a las altas salinidades, alclindades, sólidos en suspensión, corrosión de tanino, etc. desapareció, el autor incrementó, sin inconvenientes, esas magnitudes. No se puede obtener suficiente. III

III-- experiencia en el campo ferroviario. Sin embargo, algunas aguas de calderas de ingenio en la Provincia de Tucumán han sido tratadas con éxito proveyendo exactamente el mismo tratamiento que simultáneamente se estaba ensayando con muy buenos resultados en una locomotora piloto bajo control del autor. Como se sabe, las aguas para caldera de ingenio, en virtud de una alta tasa de recuperación de condensados, son de muy baja dureza.

En relación con lo que aquí se trata, siempre se ha dicho que la alcalinidad total del agua de caldera debe preferiblemente estar comprendida entre 12 y 20% del TSS. El autor ha buscado en vano a través de la literatura técnica las razones que sustentan esos valores, los que en el caso de bajos TSS conducen a muy bajas alcalinidades. Dado que las aguas de baja dureza usualmente no dan lugar a altos TSS, se sigue que aún si los valores de 12 a 20% se mantienen, el valor mínimo absoluto de 200 ppm de Na_2CO_3 no puede garantizarse.

Por ello el autor ha agregado Na_2CO_3 en mucho exceso en todos los casos. Esto ha ayudado a mantener la sílice en solución, sílice que aparece normalmente en aguas de baja dureza.

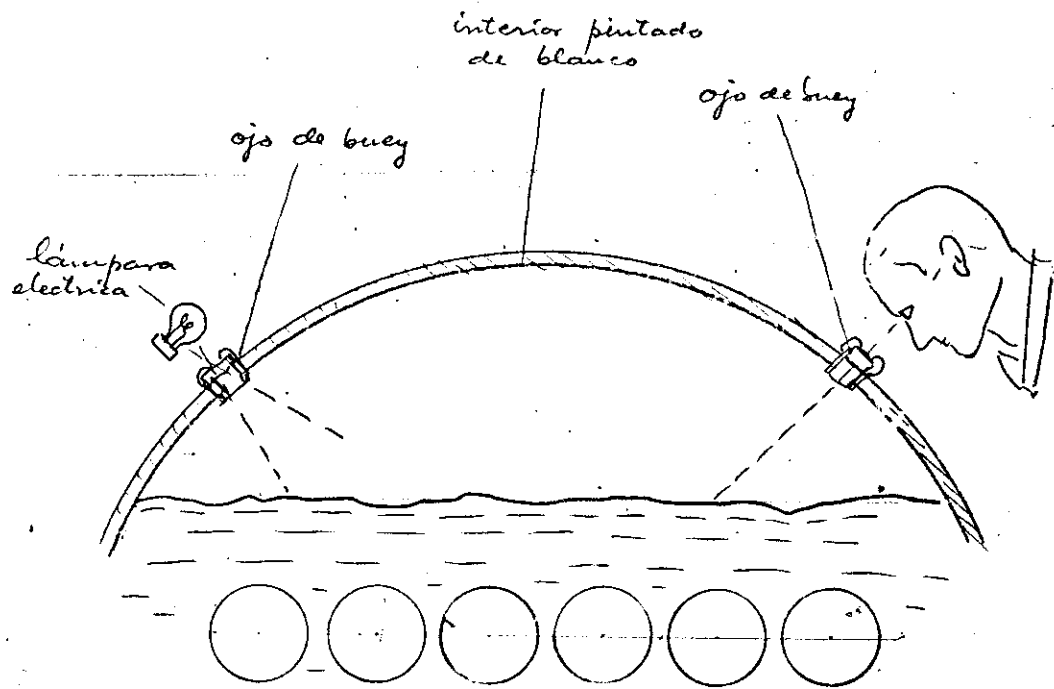


Fig. 2. Dispositivo elemental con el cual se ha podido observar la ebullición dentro de la caldera.

4 Contaminación del vapor.

Contrariamente a una creencia sumamente extendida en los círculos ferroviarios, el agua de una caldera de locomotora hierve vigorosamente como en una pava encima del fuego. El autor ha visto esto con sus propios ojos mediante el simple expediente de colocar dos vidrios de ojo de buey (de lubricador hidrostático) en la forma indicada en la Fig. 2: uno para iluminación, otro para observación con el ojo desnudo.

Normalmente, existe una capa de espuma sobre el agua; su espesor puede llegar a ser tan grande que alcance la altura de la toma de vapor, lo que se traduce en el arrastre de humedad y sólidos. Estos últimos van con el vapor tanto en forma de sólidos sólidos o en suspensión en esa humedad. Excepto cuando el agua de caldera es "mucha" después de un lavado, en la caldera hierve una solución salina relativamente concentrada. Por ello el vapor producido es ligeramente sobrecalentado conforme a la ley de RAULT (17) (*). Cuando se hierve agua "limpia", se produce vapor con $\approx 2\%$ de humedad (un valor clásico) (24). Pero el mecanismo del arrastre es diferente del que se da cuando hay espuma. En el primer caso pequeñas gotas saltan desde la superficie del agua conforme la familiar imagen que se observa en un vaso de soda (25). Según se mostrará más adelante, se produce --- III

(*). Esto ha sido comprobado con mediciones efectuadas en la SNCF (Vitry, Francia).

III... un vapor muy puro cuando se usan los mejores antiembullicivos, lo que hace que la humedad se haga (prácticamente) cero. El ingeniero debe advertirse de estos hechos que afectan el balance del calor transmitidos en las distintas partes de la caldera, particularmente cuando se trata de interpretar resultados experimentales.

Cuando hay una capa de espuma, si su altura no es excesiva, se produce un vapor muy puro cualquiera sea la intensidad de la vaporización (*). Numerosas experiencias, que han incluido también calderas fijas, han mostrado que, cuando se dispone de un buen antiembullicivo, la contaminación del vapor es menor de 2 ppm aún cuando el TSS sea tan alto como 35 000 ppm (la cifra de ≈ 2 ppm era el umbral del método de control empleado). La constatación se ha repetido con firmeza aún con altas concentraciones de sólidos en suspensión (incluyendo arcilla proveniente del agua de alimentación), materia orgánica, aceite, etc. Por supuesto, esta pureza de vapor brillaba en el servicio bajo la forma de vástagos perfectamente lubricados, bajo desgastes de aros, elementos sobrecalentados imaculados, un agua transparente en el vidrio de nivel, nada de manchas blanquecinas alrededor de las pequeñas fugas de vapor, etc.

La formación de la espuma comienza con la producción de burbujas --- III

(*) esto se debe a que la rotura de una burbuja se produce por agostamiento de un agujero, no por explosión.

III... en la superficie de calefacción. Esas burbujas pueden o no coalescer formando otras más grandes (en menor cantidad) durante su camino hacia la superficie del agua (*); su permanencia allí se debe a una todavía no muy bien comprendida multitud de causas (Refs. (26) a (36)). El hecho es que cuando se emplea un buen anti-ebullicivo se obtienen los resultados más arriba descritos.

Su acción es cuádruple: (i) disminuye el número de núcleos de evaporación por unidad de superficie de calefacción; (ii) las burbujas de vapor son más grandes; (iii) estas coalescen en otras todavía más grandes en su camino a la superficie y (iv) se reduce su vida en la capa de espuma.

El autor ha hecho muchos ensayos en condiciones controladas y repetidas, en los cuales el trabajo de la locomotora estaba cuantitativamente definido y la continuación del vapor medida, esto por oposición al viejo método de "trabaje la fuente la máquina y vea si no sale agua por la chimenea".

Se ha podido establecer que la

DIESTEARILETILENDIAMINA

era el mejor de los anti-ebullicivos disponibles, (en 1970-1973). Usado en concentraciones de 1 a 2 ppm en agua de tender se podía evaporar 16 000 kg h⁻¹ de vapor en una cámara de 1,5 m³ a 14 at_g y con un agua conteniendo hasta 58 000 ppm de TSS.

El dispositivo de control de altura ---!!!

(*) en realidad, la velocidad relativa del agua respecto del agua es $\approx 0,25$ m s⁻¹. Como el agua se mueve a 1 a 2 m s⁻¹, las burbujas son prácticamente arrastradas por la corriente.

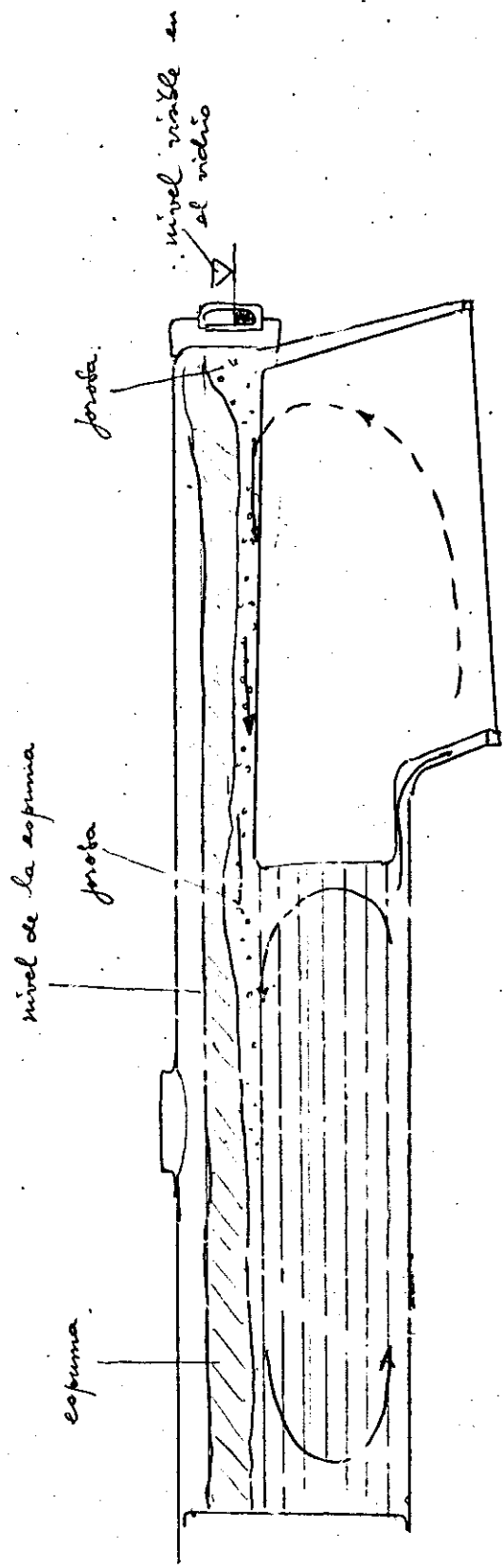


Fig. 2.1. Formación de probas en el agua de caldera, las que tienden a desaparecer con la espuma.

III--- de espuma ha mostrado que su espesor es de 5 a 10 cm; sin embargo, en experiencias llevadas a cabo en calderas fijas, se encontró que ese espesor parece ser menor.

En la técnica de las calderas fijas (55) se ha aceptado, explícita o implícitamente, que la humedad del vapor depende de la carga impuesta a la cámara de vapor:

$$\frac{\text{volumen del vapor generado por segundo} [\text{m}^3 \text{s}^{-1}]}{\text{volumen de la cámara de vapor} [\text{m}^3]}$$

La interpretación de los fenómenos era que la velocidad con la cual el vapor atravesaba el pelo de agua no era lo más importante como muchas veces se ha dicho. En tanto que la intensidad de la evaporación varía considerablemente a lo largo de la caldera, lo que da lugar a "jorobas" (Fig. 2,1), cuando hay una espesa capa de espuma estas "jorobas" se atenúan y lo que cuenta es el espacio disponible en relación a la vida de las burbujas: esto es lo que el anterior parámetro describe.

En el ejemplo anteriormente citado (58 000 ppm, etc.) el parámetro era de $4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ s}$.

Es claro que el usual volumen del domo (cipula) poco contribuye al control de la espuma. Esto es bien conocido desde hace mucho tiempo, lo que ha dado lugar a diferentes diseños de tomas de vapor.

La existencia de tales jorobas --- III

III--- ha sido conocida desde hace mucho, cuando el Bureau of Locomotive Inspection of the USA Interstate Commerce Commission realizó ensayos que definieron las disposiciones relativas a los niveles de agua, grifos de prueba, etc. (Refs. (56) p. 339 y (57)). La existencia de una "jaroba" contra la placa trasera de la envolvente del hogar probó, cuan errónea y engañosa es la indicación dada por grifos de nivel colocados directamente sobre dicha placa (en Argentina tales grifos no se usan desde hace mucho tiempo).

Hasta ahora, el volumen del espacio de vapor ha sido determinado, en el diseño, adoptando (implícita o explícitamente) un valor de $\approx 2 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ s}$. Esto debe relacionarse con las condiciones que se daban antes de la aparición de los anti-bullicios de que hoy se dispone. Esto no necesariamente invalida la regla anterior, pero lo que cambia son los conceptos relativos al objeto y la utilidad del espacio de vapor. (ver sección ----).

Los anti-bullicios son sustancias que tienen una limitada vida en la caldera, probablemente conforme a una función exponencial decreciente con la temperatura. En consecuencia puede ocurrir que tras una larga parada el agua de caldera no cuenta ya más con su presencia. Por ellos han de preverse medios para asegurar una rápida inyección en la línea de alimentación --- III

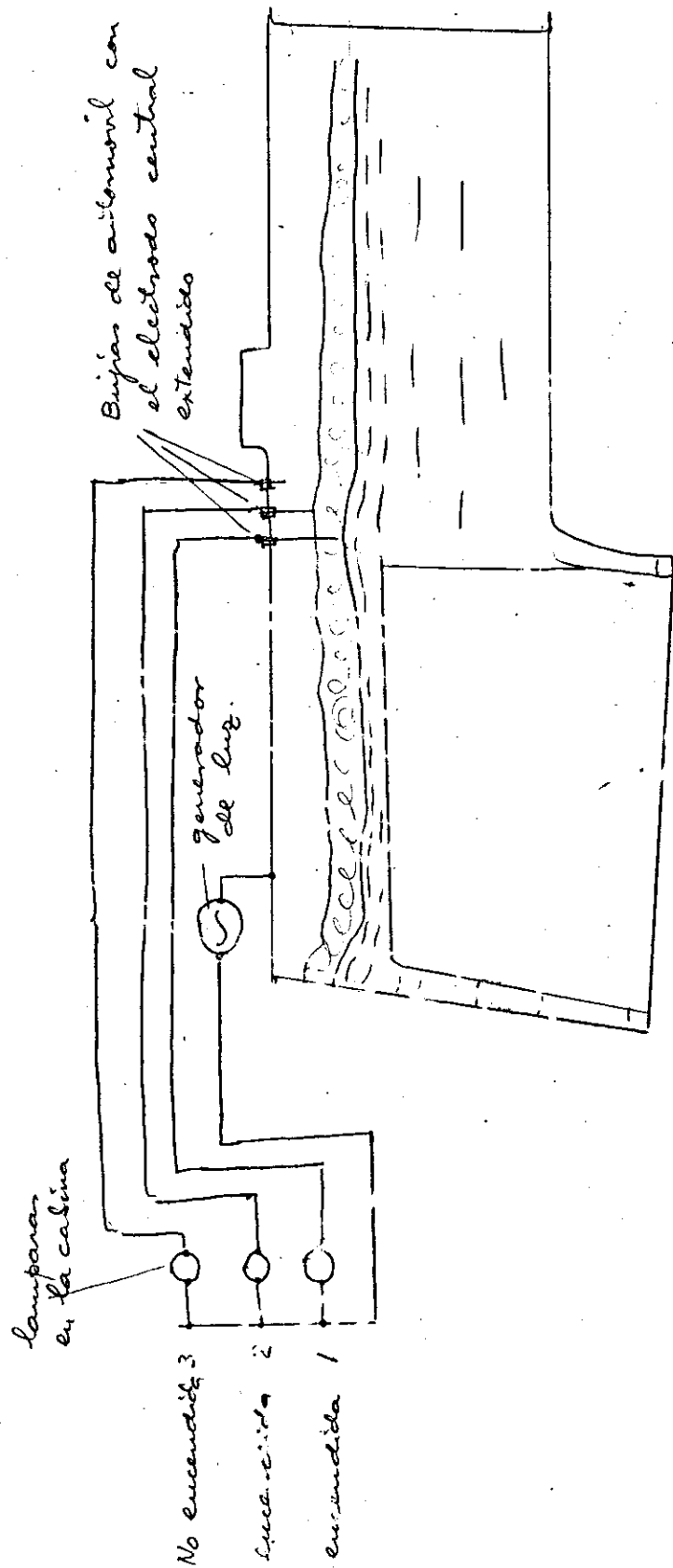


Fig. 3 Medidor de altura de espuma.
 (Ver tambien SENIFF, US Patent 1,977.898 (1934).

///--- si se prevé que la locomotora tendrá que hacer un importante esfuerzo después de una parada prolongada (> 30 min) (*). La teoría de la concentración del antibullicivo en el agua de caldera es bastante complicada, pero puede decirse que cuanto menor sea el volumen de agua por kg/h de vapor producido, tanto mejor: este es el caso de las locomotoras modernas que trabajan con fuerte tiro, particularmente el de los diseños del que esto escribe.

El autor no puede analizar aquí las muchas hipótesis que se han formulado en los medios ferroviarios para describir y explicar los fenómenos de contaminación del vapor, algunos de los cuales han dado lugar a erróneos métodos de ensayo y especificaciones que nada tienen que ver con la realidad.

El Signal Foam Meter, desarrollado por la DEARBORN Ch. Co. en los EE.UU. (37) ha sido simplificado por el autor en forma de facilitar su instalación (Fig. 3). Tres electrodos de distinta longitud, correspondiendo a 60, 40 y 20% del volumen de la cámara de vapor, se fabrican a partir de bujías de automóvil. En la cabina, tres lámparas de 32 V se encienden sucesivamente cuando la espuma cierra el circuito alimentado por la corriente del generador del sistema de iluminación de la locomotora. Como, sobre la masa de agua existe una espuma "sólida", "segura" (que es el caso cuando se emplean buenos antibullicivos), ---///

(*) se tiene entendido que esto se ha hecho en algunos casos en la SNCF.

III-- las lámparas acusar un contacto franco "luz - no luz" propio de una buena definición del mismo. Un antiebullicio mediocre produce en cambio un encendido mortecino de las lámparas, de las cuales la más alta muestra un filamento apenas enrojecido que indica un mal contacto entre el electrodo y la espuma. En esas condiciones, no puede detectarse ninguna alteración en el pirómetro de vapor sobrecalentado, ni siquiera alguna indicación que permita a los más experimentados maquinistas decir que se da "un ligero arrastre de agua". Sin embargo, tras un recorrido prolongado, puede observarse que el aspecto de la lubricación de los vástagos cambia, en tanto que la fuerza necesaria para accionar el volante de cambio de marcha es mayor.

Las lámparas también han mostrado una fina y delicada sensibilidad a la intensidad de la evaporación de la caldera, tanto que son capaces de detectar una variación de 5% en la misma. Esto proporciona una gran ayuda para la conducción. Lo propio se ha observado en calderas fijas.

Por medio del sistema de lámparas ha podido establecerse que el espesor de la espuma es de unos 5 a 10 cm por encima del nivel que se ve en el vidrio. Su excelente comportamiento conduce al autor a proponerlo como equipo normal de control ---!!!

III--- de la locomotora dado que es de gran ayuda para su manejo, con lo que se impiden pequeños e inadvertidos arrastres cuya naturaleza dista de ser inocua(*). De hecho, un manejo descuidado y grosero de la locomotora no será corregido aún por el mejor anti-bull-ciro; pero sus consecuencias pueden ser minimizadas, para lo cual el sistema de lámparas es una gran ayuda.

En Argentina, una experiencia de años prueba que la presencia de aceite de cilindro en la caldera no es dañina. Esto es contrario a una muy difundida opinión que existe en la materia. El aceite ha sido desde siempre utilizado como anti-bull-ciro, pero el autor no ha llevado a cabo experiencias que prueben que es capaz de dar una pureza de vapor tan buena como la de que aquí se habla. También es sabido que, en España, durante el período que transcurrió entre el cese de la importación de anti-bull-ciros de EEUU y su desarrollo local, se utilizó fuel-oil para controlar la formación de espumas. No se constató ningún daño en las calderas excepto el de la carbonización de las válvulas de regulador. Esto se menciona a título informativo.

Por lo que hace al ensayo de los anti-bull-ciros en servicio, la falta de una correcta comprensión de lo que una locomotora es como máquina termodinámica ha conducido, en el pasado, a imperfectos --- III

(*) Cuando uno se acostumbra a manejar una locomotora con las lámparas, su falta se nota mucho. Nótese que el costo del sistema es prácticamente despreciable.

III--- métodos de ensayo (*). Estos consistían en poner un tren de tonelaje máximo detrás de una locomotora típica del ferrocarril en cuestión y observar el comportamiento a lo largo de un viaje con un alio TSS en la caldera. Ese comportamiento es observado subjetivamente conforme a las reglas empíricas que hacen a la conducción, sin que se relevaran datos cuantitativamente significativos ni que se dieran tampoco adecuadas normas de comparación. De hecho, en tanto no apareciera agua en forma visible en la chimenea, un antiesulfuro era calificado de aceptable si se podía trabajar "fuerte" la locomotora con un TSS definido y con un dosado menor que el utilizado en la operación normal. No se usaba pirómetro.

El autor y su equipo técnico desarrolló un procedimiento más refinado, el que, sin embargo, es todavía algo tosco. La intensidad de la carga de la locomotora, luego de definido su máximo en la usual forma subjetiva en base a la experiencia de los hombres de manejo, fue controlada con un manómetro de contrapresión total (PITOT) en el caño de escape (*). Con ello es posible realizar un ensayo a un régimen de vapor definido (en kg/s). Para evitar las incertidumbres asociadas, con --- III

(*) lo cual no quiere decir que los antiesulfuros elegidos fueran necesariamente inadecuados.

(*) esto equivale a utilizar la tobera de escape como medidor de flujo conforme el método de ensayo de locomotoras llamado "de contrapresión constante"

III-- con el trabajo a regulador total o parcialmente abierto, se adoptó el manejo con plena abertura (para los prácticos esto suponía una condición más dura). Para evitar la influencia de la presión de caldera, ésta se mantuvo dentro de 0,5 at del máximo; para evitar la influencia del nivel de agua, se decidió cual era en la práctica el nivel normal de agua en el vidrio (75 mm en el caso particular de que aquí se habla) cuando la locomotora trabajaba a plena potencia. También se colocó un nivel a media longitud de caldera, el que serviría de referencia fundamental. A fin de juzgar sobre la lubricación de los cilindros, se instaló una bomba cuya alimentación se reguló en un mínimo satisfactorio. El ensayo se realizaba a contrapresión constante, en forma independiente del perfil de la vía, conforme al método desarrollado por los ferrocarriles británicos. Con ello desapareció la influencia del particular modo de manejo del maquinista.

Dado que se consideraba que el TSS era el más importante factor condicionante de la formación de espumas y arastres, la cifra fijada para el ensayo era alcanzada añadiendo impresionantes cantidades de NaCl al agua de tender. Para evaluar la altura de la espuma, se instaló el sistema de lámparas más arriba descrito, en tanto que la pureza del vapor se evaluó por un ensayo de su contenido de cloruros -- III

III--- se lo describe en el Apéndice. Fue una gran suerte que pudiera disponerse de un reconocidamente buen antiembullicivo (juzgado en base a una larga experiencia práctica) como elemento de referencia. La comparación entre varios antiembullicivos se hizo adhiriendo en todo lo posible a una rutina que incluía lavados de caldera, etc. Pronto se vio que la formación de espumas respondía al esquema precedentemente descrito, lo que dio por tierra con muchas ideas que no tenían otra base que una interpretación empírica de lo que se había observado a lo largo de años de experiencia en el manejo de locomotoras.

El sistema de lámparas permitió descubrir con mucha anticipación las tendencias a la formación de espuma respecto de las indicaciones del pirómetro, para no hablar de la grosera aparición de agua en la chimenea. El uso del antiembullicivo de referencia mostro el inesperado resultado de que la pureza del vapor asociada con su empleo era casi perfecta. Inmediatamente después que las lámparas pronosticaban dificultades, 20, 100 o 500 ppm de NaCl aparecían en lugar de un vapor muy puro con 1 o 2 ppm. Esto permitió distinguir tres clases de antiembullicivos:

(1) Los que trabajaban en forma no distinguible del de referencia;

- (ii) los que permitían un normal desempeño de la locomotora hasta $\approx \frac{2}{3}$ de la evaporación máxima (sin embargo suficiente para mantener el horario), pero que daban lugar a una definida contaminación observable solamente con el sistema de lámparas y la presencia de NaCl en el vapor; y
- (iii) los que no controlaban la formación de espumas.

Según ya se ha dicho, y dada la importancia de la cuestión se eligió, como resultado de ensayos hechos sobre muestras no identificables, el mejor antiembullador. Producida la identificación, se encontró que el elegido se correspondía con el que sirvió de referencia. Luego fué sometido a ensayos normales en servicio (con sobrecarga) en forma de comprobar si su performance podía ser mantenida en toda circunstancia y sobre una gran variedad de aguas de alimentación. Aguas que por supuesto fueron elegidas de entre las reputadas como más "venenosas" de la red.

Es así que mucho se ganó en el sentido de que muchas incertidumbres desaparecieron, a tiempo que los principales factores influenciadores pudieron ser definidos en forma cuantitativa: "mediciones en lugar de opiniones". Sin embargo, se llegó a la conclusión de que los procedimientos de ensayo antedichos debían ser mejorados como sigue:

- (a) el antiembullido debe ser ensayado con un agua de caldera cuya calidad sea la requerida por los otros tres aspectos que debe cubrir un tratamiento de aguas: incrustaciones, corrosión y fragilidad cáustica. Esto no fue una falla del método adoptado en 1969, más arriba descrito, salvo en que se supuso que solamente el TSS era el condicionante de la formación de espuma;
- (b) cuando se hacen ensayos comparativos, no solamente debe lavarse la caldera, sino también el tender entre las distintas tandas de ensayos. Los antiembullidos son sustancias tan activas que apenas una pizca atrapada en algún rincón del tender (o pegada a las paredes) es suficiente para distorsionar el ensayo del producto que sigue;
- (c) dado que la acción del antiembullido se hace sentir tanto en el líquido cuanto en la superficie de calefacción, y dado que existen indicios de que esa influencia perdura por algo así como dos días, el ensayo de cada producto diferente debiera ser precedido por un periodo de trabajo normal en servicio a fin de que todo el sistema se acomode.

Todo lo antedicho hace especial referencia a la situación que se da cuando un ferrocarril adquiere anticibullicios por licitación. Dado que se encontró que la diestearyl etilendiamida es capaz de controlar los problemas dentro de un gran margen de seguridad, mucho de lo anterior pierde importancia. Sin embargo, es previsible que, en futuras circunstancias, con la adopción de mayores presiones, los precedentes conceptos vuelvan a cobrar interés.

Hay además otros fenómenos relacionados con la contaminación que deben ser conocidos a fin de prevenirse contra sus efectos nocivos. Al abrirse el regulador, el agua sube en el vidrio por causa de la aceleración (o la rampa) o del volumen de las burbujas que existen en el seno de la masa líquida. A modo de valor típico, un 5 a 10% del volumen de agua representa el volumen de las burbujas, lo que presumiblemente es afectado por los siguientes factores:

- (i) el volumen es tanto mayor cuanto mayor es la evaporación;
- (ii) lo propio cuanto más baja es la presión;
- (iii) cuanto más lenta sea la circulación, tanto mayor será ese volumen

Por lo tanto, las siguientes circunstancias conducen a una mayor alza del nivel de agua y disminución del volumen del espacio de vapor:

- (a) llevar el nivel muy alto;
- (b) asociado con (a), ocurre que el volumen de las burbujas se traduce en un mayor incremento de altura porque la superficie del plano de agua se hace más pequeña. Esto es más sensible en las calderas que no tienen hogar BELPAIRE; lo propio en el caso de calderas con pequeña cámara de vapor;
- (c) el trabajar a una presión menor que la de timbre;
- (d) cuando se da un muy rápido aumento en la salida de vapor, este vapor no es producido por la transmisión de calor en las superficies de calefacción, sino en toda la masa por un efecto flash asociado con una muy rápida baja de presión (flash), y
- (e) cuando la efectividad del anti-bullitiro se ve reducida tras una prolongada detención.

En el caso (e) la normal circulación se ve completa e instantáneamente distorsionada en todos los puntos de la caldera. En ellos se producen burbujas de vapor que expanden toda la masa, esponjándola. Cuando se eleva el agua denariado --- III

III--- cerca de la toma de vapor, la espuma es simplemente arrastrada por un "viento" de vapor, lo que es más sensible en el caso en que esa toma es puntual.

Las condiciones indicadas en (a) hasta (e) se dan en los depósitos de locomotoras o, lo que es peor, en los talleres de reparaciones principales. En los depósitos, las locomotoras son movidas por personal con poca experiencia de manejo en línea, por lo que no puede apreciar la importancia de lo que tiene entre manos. Pero el personal de talleres aún menos experiencia. Por supuesto esto reclama una adecuada capacitación, oficialmente dada por el ferrocarril, en lugar de dejar que la gente aprenda los trucos por sí misma (¡piénsese en un Junco BOEING manejado de esa manera!) Tanto en los depósitos cuanto en los talleres, las calderas están siempre "llenas hasta el pito"; la presión a la mitad del máximo; los rieles están engrasados, y por lo tanto resbaladizos; los fuegos "embancados", etc.; cuando, p.ej., súbitamente alguien pide empujar una larga fila de locomotoras, un minuto después se hace más daño al sobrecalentador y a los espejos de los cilindros que el que se da en 1000 km de duro trabajo en la línea. En los primeros se dan fuertes tensiones térmicas y depósitos salinos; en los segundos la lisura de la superficie se arruina.

No es este el lugar apropiado para analizar todo lo que conviene hacer para corregir todas esas malas tendencias, pero, sin embargo, pueden anotarse algunas conclusiones:

- (i) todos esos males son conocidos desde el primer momento en que la locomotora cobró existencia hace un siglo y medio, pero nunca se dieron, "desde arriba", iniciativas tendientes a corregirlos porque tales hechos y fenómenos nunca fueron objeto de análisis conducentes a reglas y acciones correctivas: era la época de lo "suficientemente bueno";
- (ii) ha de hacerse todo el esfuerzo posible para incorporar, al diseño de las locomotoras, disposiciones que disminuyan las posibilidades de daños, mal manejo, etc.;
- (iii) es menester proveer siquiera en alguna forma de capacitación elemental. Naturalmente, lo primero que hay que hacer para establecer tal capacitación es saber que es lo que debe ser enseñado.

Un importante trabajo relacionado con la contaminación del vapor es el de A. WILLIAMS (Ref. (74)), cuya lectura se recomienda especialmente.

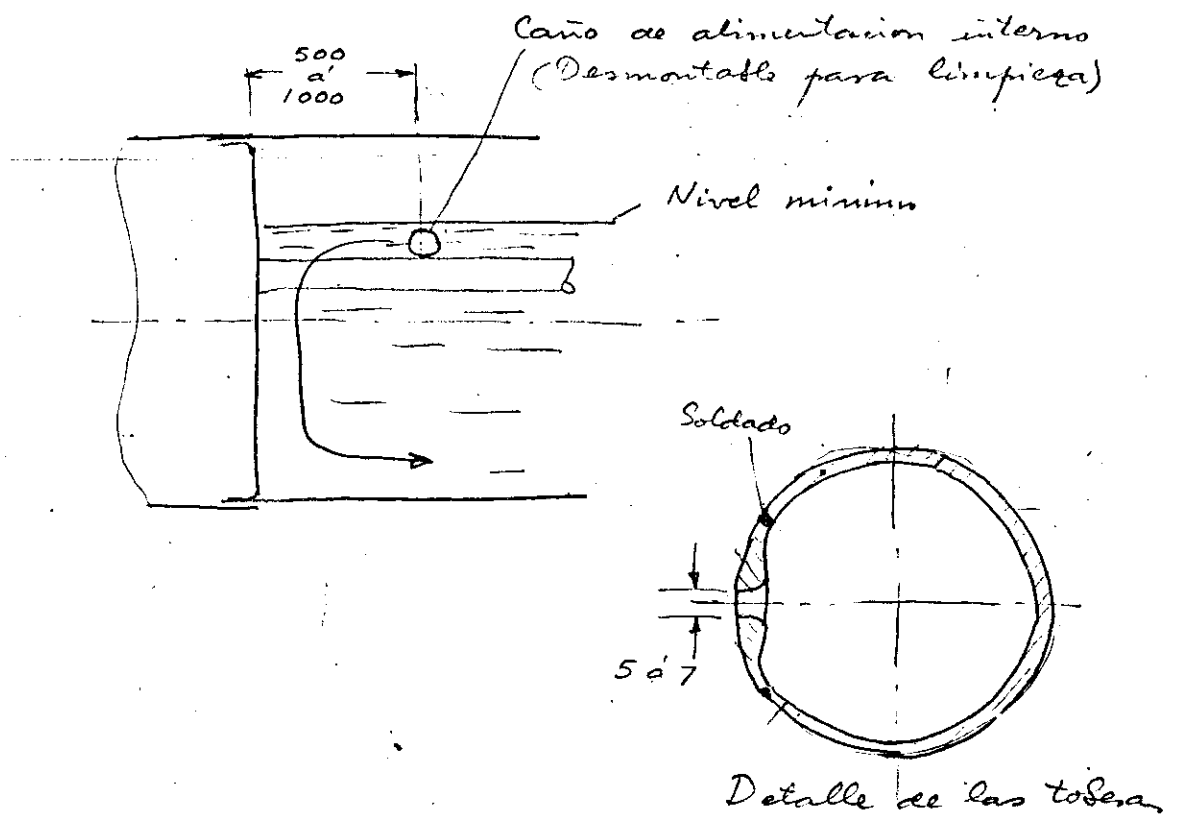


Fig. 4. Caño de introducción interno con descarga bajo el nivel de agua.

5. Corrosión. Fragilidad cáustica.

El agua del tender, sea naturalmente, sea en razón del Na_2CO_3 , el tanino y los fosfatos de intento agregados, es siempre alcalina. Por lo tanto no se dan corrosiones en el equipo que, en el ciclo térmico, está ubicado antes de la caldera. Podría darse corrosión en los caños de cobre por efecto del NH_3 si su concentración es mayor de 10 ppm, lo que es muy raro. Por ello las chapas del tender, etc. debieran durar 50 años y pueden ser más finas de lo que lo son usualmente.

En la caldera, se puede detener la corrosión si se dan las condiciones que conducen a la formación y mantenimiento de una capa de magnetita, lo que se hace fácilmente gracias a las alcalinidades de que antes se ha hablado (1000 a 3000 ppm en CaCO_3). Sin embargo, en las cercanías de la introducción, el agua puede no ser tan alcalina; el dispositivo indicado en la Fig. 4 sirve al doble propósito de alcalinizar (fuertemente) el agua que entra y evitar su choque frío contra los tubos y las chapas del cuerpo cilíndrico. A fin de proveer una buena mezcla, la caída de presión a través de los agujeros-bocanilla puede ser del orden de 0.5 a 1 kgf cm^2 . La rapidez de la mezcla se acelera reduciendo su diámetro en todo lo posible.

El tanino se agrega por varias razones, una de ellas es la de servir para hacer desaparecer el oxígeno. Dado que --- III

III-- la fisicoquímica del proceso de precipitación impone una introducción sumergida, no puede utilizarse el espacio de vapor para degasificar el agua tal como era el caso en el ex-GWR (Gran Bretaña). A su "top feed" debe atribuirse el que las calderas de ese ferrocarril no presentaran corrosiones. De allí la conveniencia de evitar, en todo lo posible, la presencia de oxígeno en el agua de alimentación. La manga de dar agua del tipo sumergido (usada en el FCR, Argentina) evita la solubilización del aire que se da cuando el chorro libre arrastra aire que burbujea.

En los FCC Británicos se agregaban 30 ppm al agua de tender a fin de controlar el ataque alcalino a los hogares de cobre (21)(22) y unas 10 a 12 ppm en el caso de hogares de acero.

Algunas veces es forzoso recuperar tubos de caldera que presentan severas corrosiones debidas a imperfectos tratamientos de agua. No hay objeción en utilizar tales tubos, pero, si se produce una perforación en el servicio, deben inmediatamente adoptarse medidas correctivas dado que la pérdida rápidamente se convierte en una descontrolada purga continua. Esto baja rápidamente la alcalinidad, con lo que desaparece la llave maestra del tratamiento. Una alta alcalinidad es naturalmente una defensa contra tal estado de cosas, regla que es válida para cualquier otra forma de pérdida, la que puede ser ser un eslag roto, ---III

III- un purga de nivel que pierda, un tubo que pierda en la placa tubular, etc. Curiosamente, ESTO NUNCA SE DIJO HASTA AHORA. (*).

Parece que tales corrosiones (las que dan lugar a perforaciones de tubos) se aceleran cuando se vacían las calderas sin secarlas (una condición muy frecuente en la vida de depósitos) a menos que se tomen adecuadas providencias. En cualquier caso, la regla es que nunca se dejen las calderas en tal situación, aún durante corto tiempo. El mejor modo de preservar las calderas fuera de servicio es dejarlas llenas de agua fuertemente alcalina.

Los asientos de bronce de las válvulas rápidamente dan lugar a fugas por causa de la corrosión; lo que obliga a su sustitución por otros materiales. El vapor es, en las locomotoras, muy ácido a causa del CO_2 que resulta de la disociación del Na_2CO_3 .

El autor ha obtenido buenos resultados con el acero inoxidable, pero la cosa dista de haber sido suficientemente estudiada. Esas fugas están lejos de no ser importantes. Además de alterar significativamente el equilibrio entre la producción de vapor y su consumo, se produce sea que la locomotora esté detenida o en trabajo fuerte o débilmente, a más de crecer exponencialmente con el tiempo; y contribuyen no poco al ese 50% de las horas de funcionamiento diario que es absorbido por cosas -- III

(*). lo que no deja de ser asombroso.

///-- no esenciales. Lo mismo puede decirse de los prensaestopos de válvulas, los que, además de necesitar otro tipo de material de empaquetadura, deben ser completamente rediseñados. Se ha usado goma con éxito en las empaquetaduras de regulador tipo americano. Una reciente propuesta radicalmente diferente es utilizar O-rings.

Otro de los mitos que desaparecen de la escena es la calificación de "corrosivas" para ciertas aguas; toda vez que en la caldera se mantengan las condiciones correctas, no interesa que es lo que ingresa al sistema. (Lo propio puede decirse del calificativo "ebullitivas" si se emplean los anti-ebullicivos de que aquí se habla).

Por lo que hace a la fragilidad cáustica, es un hecho que mucha gente no cree en ella porque nunca la ha visto. Sin embargo, una ojeada a la literatura técnica muestra que en algún momento fue motivo de gran preocupación y ansiedad. ARMAND (46) dice que era desconocida en los ferrocarriles franceses y, en base a las limitadas informaciones disponibles al autor, también en los argentinos. En este último caso, conforme será explicado más adelante, esto puede ser atribuido al hecho de que siempre se ha usado tanino de quebracho (*). También con frecuencia se ha utilizado currim, bosta, etc. para detener perdidas en la placa tubular, con lo que probablemente se han obstruido las pequeñas ---///

(*) o quizá a la frecuencia con que las aguas argentinas tienen nitratos (ver más adelante).

//1-- filtraciones que son causa de fragilización.

Clásicamente, tres son las condiciones que simultáneamente se requieren para que ocurra fragilidad cáustica:

- (i) que haya una fuga que de lugar, mediante una evaporación, a una concentración de soda cáustica por encima de las 50 000 a 100 000 ppm necesarias para producir el ataque;
- (ii) que el agua tenga propiedades fragilizantes, y
- (iii) que el ataque se haga en una zona del metal en la que las tensiones se acerquen al límite de fluencia.

Obviamente, el lugar más peligroso es la costura principal remachada del cuerpo cilíndrico. Las áreas vecinas a los agujeros de los remaches son proclives al ataque cáustico, el que toma la forma de fisuras que progresa a lo largo de los bordes de los granos (de allí el adjetivo "intercristalino"). Cuando estas fisuras conectan varios agujeros de remache, la unión pierde su resistencia al punto de convertirse en peligro de explosión, una condición bien conocida a lo largo de la historia de la técnica de calderas.

que BARDWELL et al. (47) han descrito el estado de pánico que, en su momento, se dio en el ferrocarril Chesapeake & Ohio. El lector puede encontrar mejores referencias en el ASME Symposium de 1942 (48).

Las calderas de locomotora parecen ser más susceptibles que las fijas a este tipo de falla porque están sujetas a ---//1

///... a la contribución a la resistencia del bastidor. Esta contribución nunca ha sido evaluada, ni tampoco incluida en los requerimientos impuestos por reglamento alguno de calderas. Sin embargo, los esfuerzos que de ella se derivan existen. La experiencia habida en el C & O indujo a asociar la mayor frecuencia de rajaduras que se daba en las costuras ubicadas al costado del cuerpo cilíndrico con las deformaciones elípticas resultantes de la acción de dichos esfuerzos, siendo el eje mayor de la elipse el horizontal. Existen razones que permiten suponer la existencia de tensiones cíclicas que afectan las costuras en forma tal que se produzcan pequeñas fugas (condición (i) ante) dado que las chapas que las forman son finas. Las viejas calderas, que tenían placas más bien gruesas (respecto del diámetro) dado el menor módulo resistente ("efficiency") de la unión, parecían estar más libres de fisuración crítica (*). La moraleja es que una precisa evaluación de las tensiones cíclicas originadas por esfuerzos que provienen del bastidor debe ser hecha, y que, si por cualquier causa, hay que proveer de costuras remachadas habría que ubicarlas preferentemente en el plano vertical.

Por lo que hace a la condición (i), es obvio que la mejor solución es no tener ninguna fuga, esto es: calderas soldadas. Sin embargo, este no es el caso de las locomotoras existentes, ni tampoco puede ser. ---///

(*) Sin embargo, este criterio es difícil de aceptar porque siempre las calderas de locomotoras han tenido muy buen módulo resistente.

III--- lo más absolutamente conveniente en todos los casos. Por ejemplo, es sabido que los ferrocarriles de Alemania Federal adoptaron finalmente una construcción mixta soldado-remachada para las calderas (79). La ostensión de pequeñas fugas ha sido propuesta a título de mecanismo según el cual los inhibidores orgánicos actúan.

Se ha establecido que, en relación con la calidad del agua (punto (ii) ante), que NO ES LA CANTIDAD DE SODA PRESENTE EN LA MISMA LO QUE DETERMINA EL ATAQUE.

Aguas de caldera cuyo contenido de NaOH sea tan bajo como 50 ppm han sido calificadas de fragilizantes (PARTRIDGE et al. (49)). Esto podría ser interpretado diciendo que un agua de caldera puede ser concentrada miles de veces como resultado de un flash, aun cuando el contenido original de NaOH hubiera sido bajo. Consecuentemente,

las altas alcalinidades que aquí se recomiendan no serían, en principio, más peligrosas que las más bajas. En algún momento,

la relación sulfato/alcalinidad total fue propuesta como un preventivo de la fragilidad caustica, esto al punto tal que fue incorporada en el ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Esto ha sido, por lo menos,

disentido (48) (*), lo que ha traído un suspiro de alivio al personal ferroviario ya que mantener bajo control la relación pedida por la ASME hubiera sido muy difícil.

(*) Ahora ha sido eliminada.

Los taninos, particularmente el de quebracho, que crece en la Argentina, han sido reconocidos como inhibidores de la fragilidad cáustica. Debe ser

$$\frac{\text{Tanino en el agua de caldera [ppm]} \geq 0,4 \text{ ó, aprox.}}{\text{Alcalinidad total [ppm de NaOH]}}$$

$$\frac{\text{Tanino en agua de caldera [ppm]} \geq 0,15}{\text{Alcalinidad total [ppm de CaCO}_3]}$$

Estas cifras provienen de la experiencia de los EEUU (48), (49). En esa fórmula, el tanino debe ser el determinado en el ensayo a la tirosina (Ref (49), p. 424). Parece que su acción es buena hasta una presión de 40 at (49). Pero no es sólo la presencia de tanino en el agua de alimentación lo que cuenta, dado que en la caldera parte es consumida por el oxígeno presente y parte es adsorbida en los cristales de CaCO_3 (*).

También el NaNO_3 es reconocido como inhibidor (48) y fue, en su momento, utilizado con éxito por el ferrocarril Chesapeake & Ohio para solucionar una dramática situación. Los Ferrocarriles Británicos lo usaban en dosis de 30 ppm en el agua de tender. Parece que su acción es concurrente con la del tanino, el que en esos ferrocarriles se usaba en dosis de 10 a 15 ppm junto con el nitrato (ha de llamarse la atención sobre el hecho de que muchas aguas naturales contienen nitrato) (*).

(*) es decir, es el tanino libre.

(*) 50 a 100 ppm de NaNO_3 en Argentina.

///-- Dado el tratamiento de esos ferrocarriles
 preveía 60 ppm de Na_2CO_3 en exceso de la
 dureza permanente en el agua de tender, la
 relación tanino/alcalinidad total remanente
 luego de la precipitación sería aproximada-
 mente de 0,15 a 0,25 si no fuera por el
 que desaparece combinándose con el oxígeno,
 y el adsorbido en los cristales.

La relación

$$\frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Nitrato de sodio en el} \\ \text{agua de caldera [ppm]} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{alcalinidad total en} \\ \text{caldera [ppm CaCO}_3\text{]} \end{array} \right\}} \geq 0,15$$

Dado que también los Ferrocarriles
 Británicos preveían 25 ppm de nitrato en el
 agua de tender, la relación en agua de
 caldera es $25/60 = 0,4 > 0,15$, es decir por
 encima del citado mínimo.

Por lo tanto, nada hay de malo
 en prever un inhibidor de la fragilidad
 cáustica, si bien hay casos en que esta, según
 se ha dicho, nunca se ha presentado. Sin
 embargo, en tanto que las condiciones (i) a
 (iii) antedichas tienen particularmente presentes
 las las costuras remachadas, hay un caso,
 todavía en curso de investigación por el autor,
 en el cual la condición (i) (la fuga) no se
 da necesariamente: es el de la unión tubo -
 placa tubular. Aún cuando hoy no puede
 concebirse ninguna placa tubular sin los --- ///

III... tubos soldados, ha de notarse que aún así su trabajo es muy severo. El agua se concentra en el film evaporado y también la toda cáustica (18)(41). No se sabe, todavía, que es lo que penetra entre tubo y placa. Las tensiones están ciertamente por encima del límite de fluencia en razón de los procesos de amandrilado, para no hablar de las causadas por el flujo de calor o las que quedan remanentes del proceso de soldadura. Las placas tubulares sufren de abusos, y es sabido que una vez que se declaran las pérdidas, se requiere más y más mantenimiento al punto que se hace necesario un reemplazo. Por ello, aún en una caldera completamente soldada hace falta inhibir la fragilidad cáustica. En la ref. (78), el autor trata sucusamente este problema, estudio que sin embargo no ha alcanzado un estado definitivo.

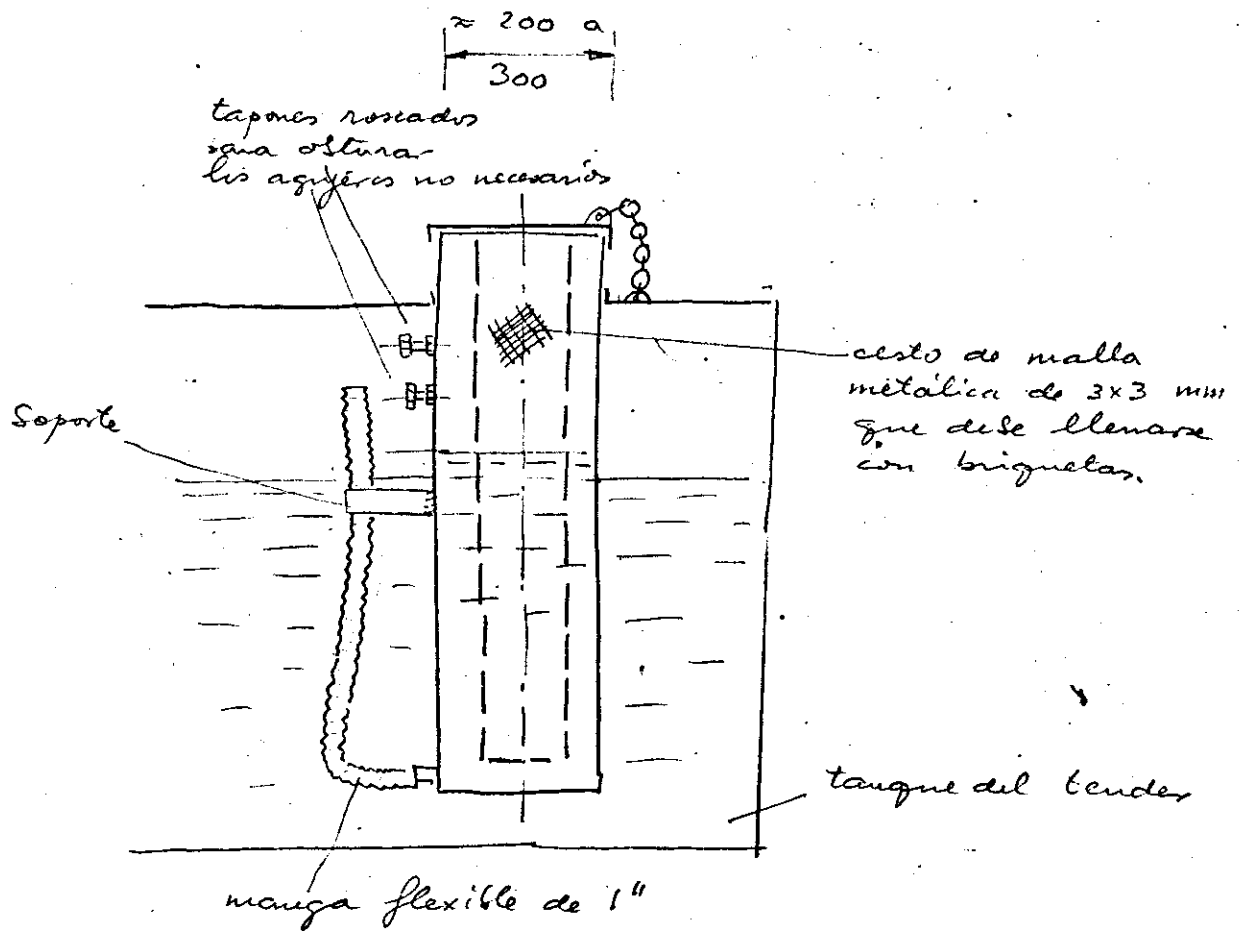


Fig. 5. Desador de tender (derivado del de los BR).

La manga flexible permite que el llenado del recipiente desador principalmente desde abajo de modo de evitar la deposición de una masa pegajosa en el fondo del desador que dificulta su funcionamiento.

6. Aplicación del tratamiento.

Las mejores teorías y métodos no tienen utilidad a menos que su aplicación sea correcta. Es así que los distintos ferrocarriles han desarrollado diferentes métodos de aplicación, pero las dificultades propias de la Argentina han forjado a una solución la más simple, capaz de tolerar errores, faltas de disciplina, abusos, etc.

Las dos claves de esa solución son:

- (i) la característica de muy altos TSS, alcalinidad y materia en suspensión en el agua de caldera. Esto es posible gracias a los anticiclónicos de que hoy se dispone. La calidad del agua de toma tiene en general poca significación. Y
- (ii) la concentración de toda gestión que tenga que ver con las aguas de caldera, a nivel depósito, en un solo hombre (o uno por turno), de modo de excluir toda acción del personal de conducción, capataces, encargados, químicos y su corte, etc., cada uno de ellos aportando su cuota de opiniones y de dilución de responsabilidades.

En el tratamiento aquí presentado, los productos son agregados al tender en polvo o en briquetas mediante el dosador mostrado en la Fig. 5. Su diseño está inspirado en el de los Ferrocarriles Británicos; ha sido simplificado evitando el ---///

(11)--- el mantenimiento de juntas estancas, etc. Es, por supuesto, infinitamente más simple que el dosador TIA. Trabaja bajo el principio de proveer un dosado promedio de los productos químicos que han de agregarse a una locomotora dada en relación con el circuito de trabajo programado para un cierto distrito. Cada vez que se llena el tender, también se llena el dosador. Esto da lugar a una solución casi saturada que, cuando el nivel del tender desciende, sale fuera del dosador a través de los agujeros previstos para ello. Cuanto mayor es el número de agujeros que se han dejado abiertos, mayor es la cantidad de solución casi saturada que se vierte en el tender. Esta solución no se mezcla muy bien con el agua, sino que permanece en las cercanías del dosador: sólo cuando el tender es nuevamente llenado es que se produce la mezcla en la forma deseada. El hombre responsable de la administración del tratamiento (según lo demuestra la experiencia) pronto aprende a ajustar el número de agujeros que quedan destapados para lograr el dosaje correcto. Se proveen dos clases de briquetas: (i) una que suministra los reactivos normales según se detalla más adelante, y (ii) otra que contiene Na_2CO_3 extra para cuando la locomotora trabaja en zonas cuyas aguas contienen un pH no carbonática. La capacidad del dosador es tal que la locomotora puede trabajar tres o cuatro días si ---

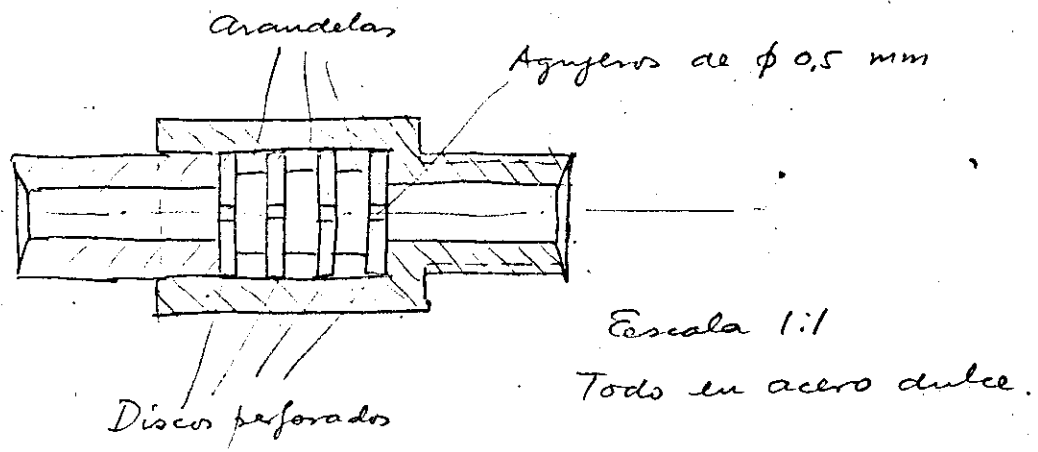


Fig. 6. Purga permanente.

III--- reaprovisionamiento, hasta que vuelva a su depósito base.

La locomotora puede ser provista de un simple dispositivo de purga continua, el que consiste en placas perforadas colocadas en serie (Fig 6). Su acción es continua (sin ningún dispositivo automático de interrupción) sea que la locomotora trabaje o no. Por ello el flujo que deja pasar es sumamente reducido, razón por la cual no causa mayor molestia. Como el TSS es muy elevado, el número de concentraciones es también elevado; por lo tanto, una pequeña purga continua es suficiente. Pero, como también lo muestra la experiencia, es posible que las pequeñas pérdidas de agua que se dan aquí y allá sean también suficientes, de modo que la purga de la Fig. 6 debe ser puesta fuera de acción. Esto se puso de manifiesto cuando, en la locomotora piloto que trabajaba bajo control del autor y bajo la constante supervisión de un químico, se operó durante dos meses sin que el estado del agua de la caldera requiriera hacer purgas de fondo. El enigma se aclaró cuando se descubrió que los grifos de purga de nivel acusaban en forma más o menos permanente "incentes" fugas. Cuando esto se corrigió (*) hubo de volverse a las purgas normales, hechas por el robinete de fondo.

(*) cambiando bronce por hierro en los asientos.

Por lo dicho, puede, en términos generales, prescindirse de las purgas en viaje, cosa muy del agrado de los maquinistas. Una purga diaria hecha "ex-officio" puede ser suficiente: la experiencia práctica muestra que cuando se grafica la composición del agua de caldera en función del kilometraje, muy pronto se desarrolla una rutina que hace que los controles frecuentes sean innecesarios.

Estas esporádicas, infrecuentes, purgas, que son natural resultado de la filosofía del tratamiento, contrastan con la "religión de las purgas" en la que tanto se insistiera en el pasado.

El hombre encargado del tratamiento debe consignar diariamente los resultados de control en una planilla que debe enviar a su jefe químico regional. No más análisis completos, que de poco sirven, excepto los que deben hacerse de tanto en tanto apuntando a describir tendencias anormales (*). En el depósito, simples gráficos muestran el estado del agua de cada locomotora, semana tras semana, de modo de detectar fácilmente las tendencias y avisar a la inspección que realiza el químico. En esos gráficos, también han de consignarse los hechos importantes, tales como los lavados de caldera. Cuando se hacen esos lavados, la caldera ha de ser inspeccionada **COMJUNTAMENTE**... ///

(*) ver más adelante.

III--- por el inspector de calderas y el encargado de la aplicación del tratamiento, de modo que ambos produzcan un INFORME ÚNICO, amén de tomar CONJUNTAMENTE las decisiones que fueren del caso.

El hombre encargado del tratamiento es también responsable del mantenimiento de los dosadores, del almacenaje de productos químicos, de su requisición, del mantenimiento del equipo de purgas, etc. Todo ha de ser informado mensualmente al químico regional.

El uso del robinete de purga en la línea es prohibido dado que conduce a reducciones no controladas de la alcalinidad. El dosador automático suministra los productos químicos en forma independiente de la responsabilidad del maquinista; y asegura el dosado aún en ocasiones tales como largas inmovilizaciones en los depósitos, etc., evitando tener que convencer a la gente de depósito de que el tratamiento también debe aplicarse cuando la locomotora está en depósito(*).

A título de complemento, se aconseja la siguiente composición para el material de los tapones fundibles:

Pb = 58% y Sn = 12%:

Esta composición, que tiene un punto de fusión de 258°C , ha sido desarrollada por Ferrarri, Argentinos y resiste la corrosión. ---III

(*) La experiencia ha probado que no aparecen las frecuentes dificultades que se dan cuando el tratamiento se aplica manualmente.

III... Los análisis de rutina han de limitarse al TSS (con un densímetro) y a la alcalinidad total obtenida con métodos sólo groseramente aproximados.

6.1 Composición del producto químico.

- El dosado propuesto es el que sigue (referido al agua de tender):
- taninos de quebracho (sulfatado), 13 ppm
 - Na_2CO_3 13 "
 - anti-espumante diestearilendianida, 0.4 "
 - hexametáforato de sodio, 3 "
 - Na_2CO_3 extra: tanto cuanto sea necesario para mantener la alcalinidad entre 1000 y 3000 ppm en cáñera.

La precedente composición materializa los principios que se han expuesto y es el resultado de una satisfactoria experiencia práctica. Sin embargo, nada se opone a buscar una mejora en pos de una mejor economía. El tanino sulfatado de quebracho ha sido utilizado sin dificultades tales como la formación de grandes aglomeraciones de lodos que dan lugar a la aparición de telones en las placas del hogar. Esos problemas se dieron en Francia durante la guerra cuando, al empezarse el desarrollo del TIA, se quiso

///... emplear taninos de quebracho en ese momento disponible: la solución fue emplear tanino de castaño, producto también utilizado por la DEARBORN Ch. Co. en sus suministros de origen norteamericano.

La composición arriba detallada fue desarrollada por N. D'AMATO y M. ANTONELLI en el FCCB, Argentina, en 1964, agregando el autor el Na_2CO_3 extra necesario para mantener una alta alcalinidad.

6.2 Lavados de caldera.

Este aspecto del tratamiento de aguas es, como muchos otros, largamente condicionado por una tradición que data de tiempos "heroicos". Entonces, dado que no existían antielullicivos, o que éstos eran poco eficaces, el trabajo de las locomotoras dependía de contar con un agua "limpia" en una caldera "limpia", en tanto que la seguridad contra las averías producidas por las incrustaciones eran controladas mediante limpiezas mecánicas y con lanzas de agua. Las incrustaciones y los lodos adheridos eran combatidos a través de agujeros de inspección no siempre bien ubicados. Obviamente, habían de practicarse frecuentes inspecciones a título de salvaguardia de la seguridad, amén de frecuentes puestas fuera de servicio, acontecimientos obligados en la vida de las calderas: un ejemplo típico lo constituyen las disposiciones de la Interstate Commerce Commission que prescribían obligatorias inspecciones mensuales.

No hay razón hoy para tales detenciones, ya que las incrustaciones han desaparecido, que la pureza y sequedad del vapor no dependen de un agua "limpia" y que los lodos no se acumulan en lugares que se supone son críticamente peligrosos. Esencialmente, lo que ha de encontrarse en los lavados efectuados ---|||

III-- Tras una semana de trabajo no difiere de lo que se da después de un mes o un año, dado que la Caldera pronto llega a un estado de equilibrio alrededor de una media que permanece indefinidamente. La incrustación crece a una velocidad cercana a cero; la contaminación del vapor no empeora porque (a los efectos prácticos) no existe, etc. Los lavados de caldera no son ya más necesarios en función de las causas que así los hacían; por lo tanto, una vez que el tratamiento ha sido firmemente establecido, ya no tienen otro objeto que (i) permitir las inspecciones, (ii) detectar posibles irregularidades y (iii) limpiar las superficies de calefacción de los lodos pegajosos que pudieran presentarse. En cada caso, la experiencia es la que dicta los espaciamientos.

Hay también un período de transición durante el cual se aflojan incrustaciones viejas al aplicarse por primera vez el tratamiento a una caldera incrustada. En él, cabe ocurrir desprendimientos de cáscaras en gran cantidad la que, al acumularse en las partes inferiores, pueden dar lugar a serios inconvenientes. Esto se da, por ejemplo, en las calderas acrotubulares fijas que son, por lejos, más sensibles que las de locomotora: Las incrustaciones desprendidas de la parte superior de los tubos caen y se amontonan en las... III

III.- partes bajas taponando los colectores inferiores, perturbando la circulación, etc. para terminar en reventones de tubos por falta de refrigeración.

El método correcto de hacer un lavado debiera seguir la práctica norteamericana (64), la que incluye un rápido enfriamiento alimentando con los inyectores y purgando hasta que esto sea posible. Cuando, finalmente, se ha hecho escapar la presión remanente, ha de comenzarse el lavado con las lanzas de agua tan pronto como el ciclo del hogar queda descubierta a fin de evitar la cocción de los lodos por la acción del calor remanente en las placas (a 100°C). TROSS (59) recomienda lavar con agua cuya temperatura sea inferior a la de las placas e inmediatamente después que ha terminado el desvaporado. De esa manera, el flujo de calor continúa dándose desde el lado gas hacia el lado agua de las superficies de calefacción. Este no es precisamente el caso que se da cuando se lavan calderas frías con agua caliente, lo que produce tensiones térmicas de "sentido" contrario a las que se dan durante el trabajo y que son, por ello, nocivas (*). Las calderas frías debieran ser lavadas con agua fría, y si esto no afloja los depósitos, habría que entibiarlas.

Al efectuar un lavado, se da la oportunidad de hacer una buena --- III

(*) esto no puede comprenderse si no se estudia a fondo a TROSS (59) cuyos extensos trabajos configuran un hito en la técnica de calderas.

III--- inspección y tomar una muestra del lodo adherido a las placas y tubos para su observación y eventual análisis. Es muy importante observar el aspecto del que se deposita sobre el marco fundamental del horno: este debe ser siempre muy fluido y fácilmente redispersable, en tanto que no deben aparecer cáscaras, a menos que provengan de incrustaciones viejas, anteriores a la aplicación del tratamiento. De tanto en tanto, ha de tomarse una muestra para determinar su humedad y hacer los estudios que son competencia de los químicos senior en los laboratorios centrales.

No hay inconveniente en que el encendido subsiguiente se haga en forma acelerada con tiraje auxiliar. Mediciones efectuadas por los Ferrocarriles Franceses (60) han mostrado que las temperaturas de las chapas no presentan significativas diferencias cuando el tiempo de encendido disminuye de 5 a $1\frac{1}{2}$ horas. Esto es corroborado por una larga tradición en la Argentina que muestra que no ocurren daños cuando se hacen los (prohibidos) encendidos acelerados de las locomotoras a petróleo. El encendido lento es uno de los no aceptables mitos del pasado (al menos para calderas no incrustadas). Sus presuntivos efectos negativos nunca fueron expresados en términos cuantitativos.

6.3 La función del químico.

La amplitud, dentro de la cual puede jugar la composición del agua de caldera (TSS y alcalinidad) es tan grande, que la aplicación del tratamiento puede ser hecha a nivel de depósito de locomotoras, por personal sin mayor cultura técnica. Pero esto no significa que el químico no haya de desempeñar un importante papel. Sus responsabilidades han de incluir, por ejemplo,

- (a) el análisis de las planillas diarias y gráficos remitidos por los agentes de depósitos;
- (b) el análisis de los informes regularmente remitidos por los inspectores que trabajan en la línea, los que han de contener:
 - informes de inspección de caldera en el lavado hecho conjuntamente con el inspector de calderas (informe único firmado por ambos);
 - irregularidades detectadas en la línea (quejas de los maquinistas, dificultades de mantenimiento, etc.);
 - reparaciones importantes efectuadas a las calderas en la línea;
 - notas relativas a la disciplina de la aplicación, etc.
- (c) el mantenimiento actualizado en los laboratorios regionales y en los centrales de un fichero (con gráficos en el dorso de las tarjetas) que contenga la siguiente información sobre las aguas de toma: fecha; lugar; TSS; durezas - - - III

III... carbonática, no carbonática, cálcica y magnésica, exceso de alcalinidad, materia en suspensión, cloruros, sulfatos, nitratos, oxígeno, sílice, etc. La frecuencia de los análisis ha de permitir apreciar las variaciones mensuales, estacionales o anuales, y el fichero, en su conjunto, ha de integrarse con el de la Autoridad de Aguas del país (en Argentina, OSN);

- (d) el mantenimiento, tanto en los laboratorios regionales como centrales (con gráficos al dorso) de los resultados de análisis "mensuales de aguas de caldera incluyendo TSS, materia en suspensión, alcalinidades, sílice, humedad "dos días" del lodo, carácter del lodo, etc.
- (e) el mantener una estrecha cooperación con el departamento de tracción de modo de anticipar las alteraciones necesarias a hacerse al dosaje de productos agregados al tender que pudieran resultar de los cambios de programas de operación de las locomotoras;
- (f) la realización de análisis más completos de modo que sirvan de base a estudios de prospectiva en relación con las políticas de afinamiento del tratamiento y no como guía de la operación diaria. (*)
- (g) notar que, a menos que estudios especiales lo requieran, no tiene sentido definir ---|||

(*) para cuando estos análisis estén terminados la locomotora estará muy lejos del depósito base y su agua estará en una condición muy diferente de la que se supone según en base a los mismos!

III--- en forma particular los métodos de análisis de agua: cualquiera de los mencionados puede adoptarse. Por ejemplo, las usuales determinaciones de las alcalinidades F y T son suficientes, de modo que no hay porqué particularizarlas (para no hablar de las determinaciones que se hacen a nivel de depósito, en tanto que una fina interpretación del pH planteará complejidades innecesarias desde el punto de vista de la rutina;

- (b) Todo químico de nivel senior ha de estar al corriente de los progresos del arte, para lo cual habrá de mantenerse actualizada una buena y nutrida biblioteca a cuya consulta debe darse carácter obligatorio. Debe hacer los estudios que se prevean necesarios para el progreso de la tecnología a la cual contribuye con su esfuerzo. El químico en jefe debe, por sí mismo, efectuar inspecciones en la línea y darse satisfacción en relación a el estado de las cosas que han sido puestas bajo su responsabilidad.

7. Resultados obtenidos.

Los resultados alcanzados en Francia con el TIA son demasiado conocidos para ser repetidos. Lo propio de Alemania, España, EE.UU., en tanto que, en una escala más modesta, los aquí presentados los confirman, como que los principios básicos son los mismos. Esencialmente, la caldera, que antes era considerada la parte de la locomotora que requería más mantenimiento, ha "desaparecido del mapa". Esto se ha traducido en que ha cesado de ser el más importante condicionante de los ciclos de mantenimiento y reparaciones; además, no hay ya más "reparaciones generales" (entendiendo por tales aquellas en las que se separa la caldera del bastidor para efectuar trabajos pesados en ella), siendo sólo necesarias reparaciones livianas para mantener el mecanismo en buenas condiciones de trabajo. No ha ya de hallarse más de calderas de recambio; el trabajo pesado de calderería de mantenimiento se convirtió en un arte olvidado. La disponibilidad y la confiabilidad no están ya más condicionadas por el estado de la caldera, de modo que una marcha continua a plena potencia puede ser hecha en montaña con evaporaciones de 100 y aún 140 $\text{kg/m}^2\text{h}$. Tales fuertes vaporizaciones, asociadas con un tipo de 400 ó 500 mm de H_2O en la caja de humos, castigan, por supuesto, menos que los normales, 50 a 60 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ sobre una caldera con 2 mm de incrustación.

Muchas veces, en el pasado, se adogó por la condensación a título de un potente recurso para resolver drásticamente el problema del mantenimiento de caldera. Esto tenía sentido en la vieja perspectiva, pero no ahora, como lo demuestran las locomotoras francesas que han hecho 2 000 000 km durante los cuales han digerido unas 50 toneladas de material incrustante sin requerir más de 400 horas-hombre de mantenimiento. Tales calderas, que han utilizado un tratamiento carbonático interno, nada hubieran tenido que envidiar a los mejores resultados espaciales con agua condensada.

Puede ocurrir que, en el caso de algunas aguas extremadamente duras, se de conveniencia económica en ablandarlas previamente a la tina. El correcto trabajo de los ablandadores impone una buena disciplina (*) y, en cualquier caso, un tratamiento complementario que garantice las condiciones prescritas para el agua de caldera. De hecho, durante la operación de la locomotora piloto que trabajara bajo control del autor en la línea Volcan-La Quiaca (FEBB, Argentina), la mezcla de aguas ablandadas (con zeolita) con otras muy duras fué, en un momento, motivo de preocupación; sin embargo, nada ocurrió, y la cuestión fué olvidada al punto de no preguntarse si por causas no técnicas, los ablandadores ---|||

(*) y no que no haya ablandamiento cuando el bombero tiene freno!

III--- trabajaban o no. La locomotora piloto fue operada sobre una extensa área del FCCB y, tan satisfactorios fueron los resultados, que, hacia el final de los 300.000 km de prueba, el tratamiento fue dejado en manos de personal sin ninguna formación técnica, sin hacerse ningún plan de purgas, sin pesar los productos químicos, etc. pero, eso sí, sin dejar de echar Na_2CO_3 al tender "de a por baldes". Esto resultó de una creciente confianza ganada kilómetro tras kilómetro. Todas las locomotoras del área Volcán - La Quiaca fueron confiadas al cuidado de un sólo hombre no técnicamente calificado (peón ayudante de ajustador) pero entrenado, lo que se tradujo en un considerable progreso en el mantenimiento, la disponibilidad y la confiabilidad, en una línea que era llamada "el cementerio de calderas". Muchos bien consagrados mitos fueron destruidos; las aguas "venenosas" dejaron de ser tales, etc., para mencionar muchas historias cuya profunda significación estaba más allá de sus aspectos anecdóticos.

Esto fue el resultado de un paso adelante en la filosofía del tratamiento de aguas. Esos resultados no difieren mucho de los (brillantes) ostendidos con el TIA en Francia, pero fueron alcanzados con recursos incomparablemente más toscos. Esto fue posible gracias a una audaz extrapolación, esto es:

- (i) el TSS puede ser tan alto como se quiera;
- (ii) no existe temor a las muy altas alcalinidades;
- (iii) se confía en una solución bien concentrada de tanino de quebracho para la protección contra la fragilidad cáustica (*);
- (iv) ha cesado el interés por la calidad de las aguas de alimentación, provided que se mantengan las condiciones prescritas en caldera;
- (v) una alta alcalinidad en caldera es el mejor colchón para absorber las variaciones de dureza del agua de distintas tomas. ESTA ES LA RESPUESTA A LA VIEJA CUESTIÓN DE QUE CADA AGUA REQUIERE UN TRATAMIENTO DISTINTO;
- (vi) no hay temor sobre la cantidad de lodos en caldera provided que sean móviles y fácilmente redisponibles. Antes bien se considera deseable que haya mucha materia en suspensión no adherente a las superficies que sirva de base al proceso de crecimiento de cristales;
- (vii) el desarrollo de un tocos y ring simple dosador de ténder que dosifica con seguridad en todo momento dosis que no requieren mayor precisión;
- (viii) la puesta del tratamiento en manos de personal no técnico, capaz de manejar el total de su gestión;

---III

(* recordando que las aguas naturales tienen, en general, mucho nitrato (50 a 100 ppm en NaNO_3).

- (ix) la indefinida y no necesariamente regular extensión de los kilometrajes entre lavados;
- (x) se terminó con el mito del aceite en la caldera;
- (xi) se garantizó una pureza de vapor mejor que 2 ppm (¡algo que nunca se midió!);
- (xii) aún 20 o 40 ppm de SiO_2 en el agua de alimentación no son causa de problemas en razón de alcalinidades "sacrilegamente" altas;
- (xiii) las fugas en las válvulas cesaron gracias a la sustitución del bronce por hierro en los asientos;
- (xiv) puede forzarse la rapidez del enfriado todo lo que se quiera;
- (xv) por primera vez se habla de la importancia de las pequeñas fugas y de la necesidad de compensar la baja de alcalinidad que producen;
- (xvi) desapareció el mito del asentamiento de los lodos y se le reconoce la necesidad de su eliminación por cuidadosas fugas;
- (xvii) se pueden utilizar drogas impuras, de calidad comercialmente inferior;
- (xviii) finalmente, todo lo arriba dicho ha sido posible gracias a la DIESTEARILETILENDIAMIDA, un "milagroso" antiestullido: cuya fabricación es posible mediante métodos simples, "en el fondo de casa", la que ha trazado la frontera entre "antes de" y "después de" la D.

No se ha tratado de reducir costos. El mejor modo de hacerlo ha sido reducir el consumo específico de vapor, lo que es posible hasta la mitad de las cifras convencionales.

Cabe preguntarse porqué el TIA no avanzó más allá de lo que lo hizo a lo largo de los puntos más arriba enunciados. Quizá los poderosos anticublicios norteamericanos aparecieron en la escena SÓLO PARA CORREGIR LAS DIFICULTADES CAUSADAS POR LA ESPUMA, sin que sus posibilidades fueran explotadas a fondo porque el tratamiento había ya alcanzado un nivel satisfactorio de desarrollo.

No obstante todo lo dicho, el autor no cree que la cuestión esté terminada, ya que debe reconocerse que es menester hacer más estudios conducentes a una mejor comprensión de la fisicoquímica de un cuadro quizá no guste a los químicos tradicionales.

Al juzgar los resultados transcritos, ha de notarse que las futuras generaciones de locomotoras deberán ser capaces de trabajar más de 20 horas/día sin atención, casi sin detenciones, a la máxima potencia de diseño. Por ello, los fenómenos que antes se daban en años, habrán de ocurrir en tiempos considerablemente más cortos, lo que agudizará las exigencias.

El ejemplo de las NIAGARA, que hacen 42 000 km/mes, fue premonitorio. Por todo ello, tales estudios son ahora más necesarios que nunca.

8 Consecuencias para el diseño y la operación.

Ahora el diseño de la caldera no depende ya más de la necesidad de disponer espacios que permitan la acumulación de incrustación y el asentamiento de lodos porque (i) no se produce incrustación y (ii) los lodos se mueven y redistribuyen al menor movimiento del agua. Los tubos pueden dejar una lamina de agua de minimo espesor (al presente $11 \text{ mm} = \frac{7}{16}''$) de modo tal que se pueda poner el máximo número de ellos en un cuerpo cilindrico de diámetro dado, con lo que se provee de la máxima área de gas posible. Esto conduce a calderas con un muy pequeño contenido de agua, a lo cual contribuyen láminas de agua muy estrechas en el hogar (100 mm más para calderas muy grandes) que son ahora posibles gracias a los nuevos diseños de estays flexibles que se muestran en la Fig. 7. Un pequeño volumen de agua asociado a una alta vaporización específica y una alta presión (11 at) se traducen en una caldera muy "relajada", sin "inercia". Esto es bueno para la corrección de cualquier caída accidental de la presión, pero no así en orden a una demanda irregular de vapor. Las más altas presiones, que dan mayor variación de presión por grado de variación de temperatura de saturación, necesitarán de maquinistas con reflejos bien entrenados, lo que no parece difícil de alcanzar si los ferrocarriles abandonan el método de entrenados mediante el sistema de ponellos -- III

III-- avisa de la máquina y dejar que aprendan por sí mismos los trucos del manejo... si pueden ¡o quieren!

Nunca una posible falta de circulación suficiente ha sido materia de preocupación en la técnica de las locomotoras de vapor. Sin embargo ha llegado el tiempo en que han de hacerse los estudios del caso (ver apéndice A...)

Nada se opone a tomar plena ventaja de la pureza del vapor que hoy puede garantizarse. Esto tiene favorable influencia sobre la lubricación de los cilindros y su desgaste, no requiriéndose aceite extra para lavar el material contaminante sólido arrastrado con el vapor ("iiberhitzerstaub"), cosa que se da aún cuando no se produzcan arrastres de agua.

Sin embargo, se ha de estar alerta sobre las pequeñas "gugas" de vapor en el caño de vapor seco que pueden ocurrir por juntas imperfectas o perforaciones (*). Lo propio ocurre con el caño de alimentación de vapor a los auxiliares: el famoso agujero que en el mismo traían las locomotoras alemanas o japonesas dese eliminarse porque por él entra agua que (i) contamina severamente el vapor que va a los auxiliares y (ii) oficia de purga no controlada.

La aplicación de todo tratamiento de agua es cosa que requiere disciplina técnica. Después de todo, las locomotoras y los trenes caminan bien si el tratamiento es manejado con una gestión deficiente, lo que se traduce en dificultades que aparecen más adelante. ---III

(*) En un cierto caso, esto costó al autor tener que cambiar un juego completo de elementos sobrecalentadores incrementados. Lo que parecía una inocente fuga del regulador, era una perforación del caño horizontal. Se acusó por una excesiva caída de presión en el sobrecalentador.

///... Por ello, nunca puede recomen-
darse demasiado sobre de la necesidad de elegir
el hombre que, a nivel de pósito, es encargado de
la aplicación del tratamiento. - Ha de ser de los más
responsables, no necesariamente especialmente
instruido. La experiencia francesa prueba que
los ex-calderos que quedaron liberados (por
el tratamiento) de sus pesados trabajos se convirtie-
ron en sus más fieles y disciplinados
agentes de aplicación.

Como siempre, no han de esperarse
buenos resultados si no media una real voluntad
de alcanzarlos. La técnica de la tracción a
vapor (por lo menos en la forma en que se la
conoce), a diferencia de otras formas de tracción,
requiere que esa voluntad exista en todos los
niveles; su omisión en cualquiera de ellos se
refleja inmediatamente en el servicio y, a
la larga, en cifras en rojo --- que
aparecen en libros de contabilidad que nin-
guuno de los interesados lee. Esta filoso-
fía del cumplimiento del deber conduce a un
mejor desarrollo de la personalidad, pero no
es muy del gusto de los hombres que hoy
han perdido el respeto a sí mismos.

Un punto importante es el de la
definición del volumen necesario para la cámara
de vapor. En su origen, no era más que
un espacio de asentamiento de la humedad,
el y --- también servía para el colapso de la
espuma cuando los anticulcheros entonces dis-
ponibles no eran todo lo eficaces que eran --- ///

III-- de desear. De allí que las locomotoras destinadas a trabajar en tierras "salvajes" tuvieron cámaras de vapor muy altas -- 60 cm -- siendo los maquinistas verdaderos artistas en llevarlas a su máximo trabajando con el agua apenas visible en el vidrio y exigiendo las máquinas al mínimo compatible con la observancia del horario.

En la técnica de las calderas fijas acuotubulares, la cámara de vapor en el domo superior es un lugar en el que se ubican los aparatos de separación del agua del vapor. (Ciclones, lavadores de vapor, etc.), usualmente en una forma relativamente abigarrada. Las condiciones del agua son tales que no hay formación de espuma, siendo las gotitas de agua separadas mecánicamente del vapor. La humedad remanente lleva un muy pequeño contenido de sólidos de forma de satisfacer las muy exigentes especificaciones que se requirieron del vapor destinado a turbinas; en las locomotoras no es así.

La entrada en escena de los poderosos anti-efullicivos antes mencionados, con su un tanto inesperada acción que va mucho más allá de "controlar la espuma", cambia completamente el precedente esquema dado que encima de esa espuma no hay ninguna humedad o gotas de agua que requieran un tiempo (o una cámara) de asentamiento. Por lo tanto, los distintos espacios de caldera ubicados por encima del metal calentado (por la combustión) más alto --- III

///-- pueden ser tentativamente definidos conforme a los conceptos que siguen:

- (a) se requiere un mínimo de cobertura con agua por razones de seguridad, fijado en 76 mm (3") por el código ASME, sección III "Locomotive Boilers" (edición 1953), en tanto que 100 mm (4") parece ser la práctica general. Esta altura corresponde al mínimo todavía visible en el vidrio. Dado que el centro de gravedad del espejo de agua no coincide con el punto calentado más alto, las pendientes y aceleraciones tienen importante influencia;
- (b) en razón de la generación de burbujas en el seno de la masa de agua, se produce un esponjamiento de la misma que se hace mayor con la mayor intensidad de vaporización y con la mayor dificultad con que esas burbujas alcanzan la superficie;
- (c) encima de esa agua "esponjada" existe una relativamente fina capa de espuma cuyo volumen (altura), forma, etc. depende de la vida de la espuma, es decir de la intensidad de la vaporización, de la presión del vapor, de las propiedades de la espuma, etc.;
- (d) conforme se explicara en la sección 4, cuando en una caldera hay una capa de espuma bastante gruesa, no hay mayores "jorobas" en la superficie, pero esto no es así cuando hay poca o ninguna espuma. Sin ---///

///-- embargo, es probable que esas jorobas sean más atenuadas cuando el agua está alta en el vidrio;

(e) ha de existir un margen (de altura o volumen) operativo, que depende de una multitud de factores que por ahora no serán analizados aquí;

(f) una locomotora es una máquina que se mueve (pero menos que un barco). En función de sus oscilaciones, estados de la vía, aceleraciones laterales, etc. es de presumirse que en la superficie del agua se den olas;

(g) como ya se ha dicho, el flujo del vapor dentro de la cámara de vapor genera un "viento" interno que da lugar a un arrastre mecánico de materia "espumosa". Se requiere un cierto volumen para mantener las volúmenes de vapor por debajo del punto en el que se da un arrastre significativo, lo que también determina la disposición de los caños de salida;

(h) es necesario prever un cierto volumen para tener en cuenta las súbitas demandas que dan lugar a un especial esponjamiento de la masa de agua, si bien este volumen se añade necesariamente a los anteriores;

(i) ha de preverse un margen que cubra las incertidumbres, etc.

No se intentará aquí formular una teoría para la definición cuantitativa del espacio de vapor necesario dado que es tema propio del diseño de calderas. Es obvio que debe ser tan pequeño como sea posible pero compatible con una adecuada pureza del vapor. Sin embargo, se considera que la lista anterior es un paso en la dirección correcta hacia un diseño racional cuyos principios básicos tienen poco que ver con los que prevalecían antes de los anticullicivos. El acierto de esta última filosofía ha sido probado en la práctica (i) experimentando con muy altos niveles en caldera o (ii) aplicando cargas fantásticamente altas en calderas cuya cámara de vapor era muy pequeña (loc. N° 3477, FCBR, Argentino).

9 El futuro (*).

"Vapor de Primera Generación" es el que alcanzó su clímax en los años 50, esto es las técnicas mecánicas y operativas norteamericanas combinadas con la termodinámica CHAPELONiana. "Vapor de Segunda Generación" es el anterior más el progreso que en silencio se ha llevado a cabo en los últimos 25 años (75) apuntando a hacer frente a la crisis del petróleo; "Vapor de Tercera Generación" es el que ha de desarrollarse como respuesta a la crisis energética. El autor trabaja al presente en este problema, ofreciendo dos soluciones posibles, ambas utilizando vapor a 60 at y 550°C : (i) un normal ciclo de escape a la atmósfera y (ii) el mismo ciclo más la condensación por debajo de la presión atmosférica como un medio de ganar más en rendimiento térmico. Este último tendrá importancia creciente en razón de la creciente escasez de combustibles.

Hasta ahora, el autor continúa adhiriendo al tratamiento carbonático interno, aún cuando existan problemas que deberán ser objeto de investigación y desarrollo. En tanto que posiblemente los fosfatos sean económicos en el caso de locomotoras con condensación (es decir con retorno del vapor seruido), es obvio

---|||

(*) el texto aquí presentado corresponde al año 1975. En 1982 se han verificado no pocos progresos, en particular en un renacer de la tracción de vapor en todo el mundo.

///-- que si se puede continuar con los carbonatos para la alternativa (i) todo será más fácil y barato. El límite de 14 atē de presión había sido hasta ahora considerado tal por causa de la creciente descomposición de los carbonatos con las más altas presiones. Ha quedado establecido que lo importante es contar, en todo momento, con un mínimo absoluto de 200 a 300 ppm de Na_2CO_3 en el agua de caldera. Pero el equilibrio entre el Na_2CO_3 y el NaOH depende mucho de la presión parcial del CO_2 en el espacio de vapor. Si esa presión es alta, el equilibrio se desplaza hacia el carbonato; si es bajo, hacia la soda. La introducción de CO_2 en el espacio de vapor puede ser posible si el exceso de alcalinidad se da en forma de NaHCO_3 , en tanto que (si fuera deseable) un desplazamiento hacia la alcalinidad cáustica puede hacerse agregando NaOH al tender: se tienen así posibilidades para explorar (*).

Los trabajos de THURSTON (40) con presiones de hasta 140 atē son prometedores en relación al uso de los carbonatos a 60 atē; sin embargo, es obvio que han de hacerse nuevos estudios de la fisicoquímica de los procesos a fin de tener en cuenta las más altas temperaturas de saturación (270°C). Uno de los puntos se refiere a los antiestabilizadores, cuya estabilidad química a tales temperaturas ha de ser asegurada a fin de mantener su esencial rol en el tratamiento. Todos aquellos
---///

(*). También se puede inyectar gas de combustión (con CO_2) al sistema

III--- aspectos que hasta ahora han contado con una cierta dosis de buena suerte han de ser descritos en términos cuantitativos, ganándose por lo tanto una mejor comprensión de los mismos: éste es un paso necesario si se quiere dominarlos.

La presencia de CO_2 en el circuito de condensación (alternativa (ii) ante) no debiera ser causa de preocupación en razón de la protección que da el film de aceite lubricante asociado con la máquina alternativa. Sin embargo, no todo el aceite inyectado en los cilindros puede permitirse sea introducido en la caldera, aun cuando la ya mencionada experiencia argentina muestra una tolerancia sorprendentemente alta. Por lo tanto, habían de desarrollarse buenos medios de separación. Al respecto, cabe señalar que el autor ha propuesto (y aplicado en parte) una técnica de lubricación que permite hacerse con cantidades mínimas de aceite a pesar de utilizarse vapor a muy altas temperaturas (80). Es menester investigar a fondo que pasa con el aceite en la caldera y su mecanismo de eliminación por adsorción al lodo purgado (58).

Hay que llamar la atención sobre el hecho de que es previsible que los frotamientos se aumenten y se hagan escasos.

En el pasado, los problemas asociados con el uso del agua y su consumo han sido invocados en contra de --- III

III-- de una resurrección de la tracción a vapor. Pero se ha olvidado que los avances de la termodinámica hacen creer que ese consumo puede reducirse a sólo $\frac{1}{5}$ de las cifras tradicionales, si es que ello fuere determinante.

La condensación con recuperación del vapor impondrá un tipo de tratamiento más cercano al de las calderas fijas con baja tasa de reposición. Como ésta es muy pequeña, el obstáculo del alto costo de los fosfatos disminuye su importancia.

Apendice

A1. Métodos de control de tratamiento.

(a) Total de sólidos solubles. El control en línea se hace con un densímetro corriente, con termómetro incorporado, del tamaño de una lámpara fuente.

(b) Alcalinidad F. En la línea se usa solución 0,2 N de HCl para evitar el daño que puede resultar en los vestidos de un uso no hábil de H_2SO_4 . Un gotero de plástico que da aprox. 20 gotas/cm³ sirve para hacer caer el ácido gota a gota en un tubo de ensayo marcado en el volumen correspondiente a 100 gotas (aprox 5 cm³), la marca hecha para la parte superior del menisco, con lo cual se evita la dificultad aparejada con la coloración que da el tanino. Cada gota corresponde a 100 ppm de alcalinidad utilizándose fenoftaleína como indicador. Como se cuenta incluso la gota que hace desaparecer la coloración, hay que corregir restando 50 ppm. La solución alcohólica de fenoftaleína es concentrada y se la lleva en un gotero de plástico.

(c) Alcalinidad total: como en el caso anterior, utilizándose solución concentrada de verde de bromocresol que da un viraje neto del azul al verde, evitándose la interferencia del tanino que hace muy difícil el empleo de la helintina.

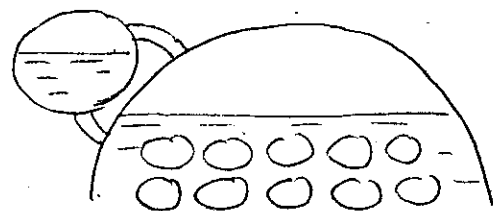
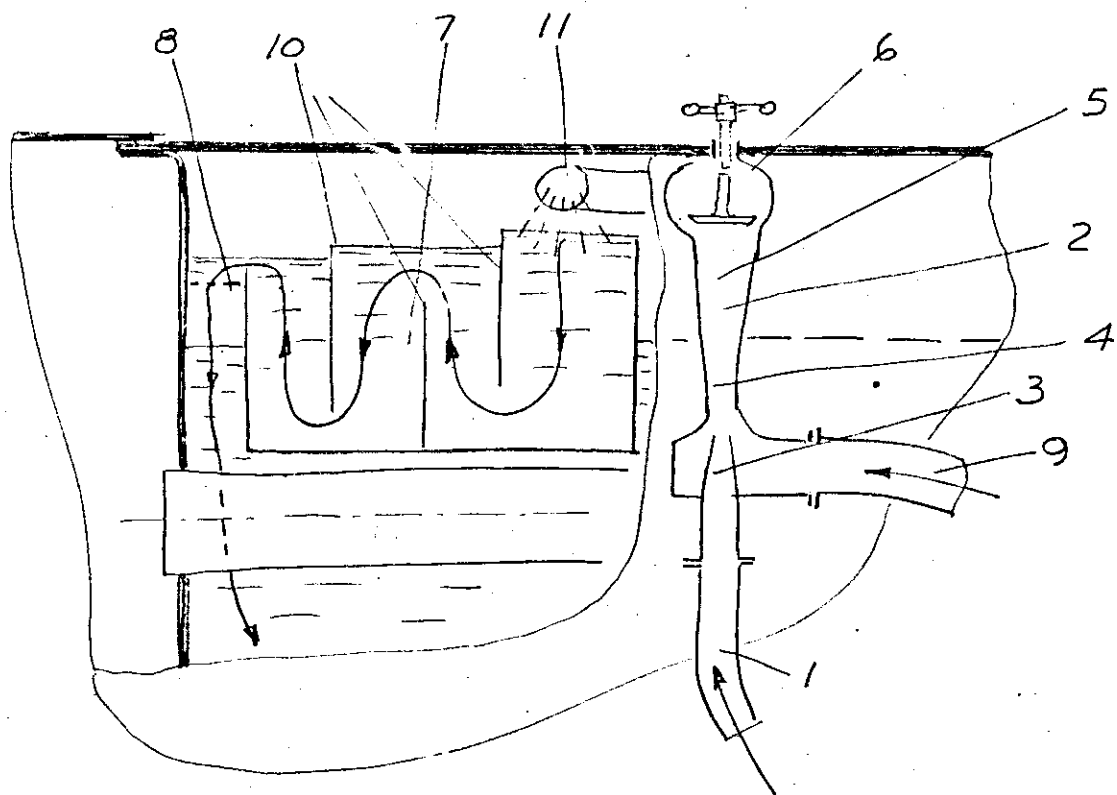
En laboratorio, ambas determinaciones se hacen según los métodos usuales cuya aplicación se facilita mediante ---//

X 111... una decoloración de la muestra de caldera con

Suele ser cómodo tomar la muestra desde el vidrio de nivel (o mejor desde un grifo a propósito) en un recipiente con cuello estrecho con tapón para evitar la contaminación con el CO_2 del medio ambiente. La toma desde el nivel evita la influencia del agua de alimentación (que suele darse con la locomotora detenida), la que tiene tendencia a ir a la parte inferior de la caldera.

(d) Contaminación del vapor. La toma de muestra se hace mediante una línea de cobre de $\frac{1}{4}$ " que sale desde el domo y se pasa a través del tender para condensarla. El condensado se toma en forma continua en un frasco. Una muestra tomada cuando la caldera trabaja a pleno se ensaya colocándola en un tubo de ensayo, al que se agregan unas gotas de $\text{AgNO}_3 + \text{HNO}_3$ concentrados. La opalescencia apreciada contra un fondo negro (AgCl) indica la presencia de cloruro, lo que se compara con patrones previamente preparados. El umbral de sensibilidad es ≈ 1 ppm de Cl^- , que, a los efectos prácticos, se considera suficiente.

(e) Equipo de control. Pueden arreglarse los distintos elementos en un estuche apenas mayor que el de los lentes, de modo que cualquier persona calificada (p. ej. un inspector de locomotoras) puede hacer un análisis de exactitud suficiente en no más de 15 minutos.



Posición fuera de la caldera.

- 1 Caño de alimentación; 2 Eyector; 3 Tobera; 4 Cámara de mezcla; 5 Dipositor; 6 Valvula de introducción y retención; 7 Batea interna; 8 Placa perforada; 9 Caño de agua de caldera; 10 Bomba; 11 Caño con perforaciones.

Fig. A3.1 Cristalizador.

Apendice

A3. Cristalizador.

El objeto del aparato mostrados en la Fig. A3.1 es el de proporcionar un mejor manejo sobre los procesos de cristalización que se dan cuando el agua de alimentación entra en la caldera. El caño de alimentación 1, conduce el agua a un eyector 2, al que penetra a través de la tosera 3. El eyector tiene, como es normal, una cámara de mezcla cilíndrica 4 y un difusor 5, en cuyo extremo hay una válvula de retención 6. El eyector "aspira" agua alcalina, cargada de sólidos en suspensión, a través del caño 9, el que la toma desde el lugar de la caldera que se suponga más conveniente. Luego de pasar la válvula de retención 6, el flujo combinado es descargado en una batea 7, ubicada por encima del nivel de agua (*). En ella hay algunos inyectores 10, en tanto que la corriente descarga en el espacio de vapor a través de las perforaciones 8, o bien bajo el nivel del agua mediante un caño al efecto. Existen además válvulas y disposiciones que permitan aislar, inspeccionar etc. el sistema aún estando la caldera en presión.

En términos generales, es posible diseñar el eyector 2 de modo tal que la proporción de la alimentación 1 al flujo aspirado por 9 pueda ser sensiblemente constante sobre una gran gama de flujos (como es el caso del

--- III

(*) en el interior de la caldera.

III--- eyector de tiro), proporción que puede ser alterada, por ejemplo, insertando resistencias en el circuito de aspiración.

Algunos de los parámetros que entran en juego son:

- (a) el proceso de mezcla se lleva a cabo en forma muy completa y en un tiempo muy corto en el eyector 2;
- (b) se puede proporcionar a voluntad, dentro de ciertos límites, la cantidad de agua alcalina y cargada de cristales de modo de controlar el proceso de de-saturación;
- (c) el tiempo necesario para complementar la resolución de la sobresaturación remanente depende de la capacidad de la bañera 7, en tanto que las pantallas 10, que dan lugar a un salto de nivel en cada una de ellas, proporcionan una cierta turbulencia, etc.

Lo que se espera del aparato es (i) que la sobresaturación remanente, no resuelta, en el agua en el momento de mezclarse con la masa de agua de la caldera sea mínima; (ii) que se dé la máxima nucleación posible de modo de tener la mayor cantidad posible de cristales. Estos, al ser numerosos, ofrecerán el máximo de superficie de crecimiento en competencia con la de los adheridos a las superficies de calefacción y (iii) que la acción de inhibición del hexametáfosfato cese, luego de ser inútil en la parte previa al cristalizador, del modo más rápido posible.

Si se considera conveniente, puede agregarse un segundo conjunto de conos (no mostrados en la figura) que mezclen el líquido con vapor saturado de modo de incrementar su temperatura antes de entrar en la batea 7. Esta acción de calentamiento puede también lograrse si el líquido cae en forma de lluvia a través del caño perforado 11.

El sistema apunta a efectuar el proceso de precipitación de la dureza tanto como sea posible fuera de la masa de agua de la caldera, con lo que se reducen a un mínimo las probabilidades de que quede sobresaturación, no remanente en contacto con las superficies de calefacción.

Queda por investigar los efectos de la degasificación que se da en las placas perforadas 8, porque pueden eliminar un CO_2 que es necesario en el agua de caldera para formar iones carbonatos y así dificultar la disociación del H_2CO_3 .

Apendice

A4. Notas adicionales.

A4.1 Sobre el tanino.

HAMER (61) dice que "los taninos
" tienen la propiedad de retener en solución
" los compuestos de calcio a temperaturas bien
" por encima de aquellas a las que normal-
" mente hubieran precipitado". Por lo tanto
actúan básicamente en forma análoga a la del
hexametáfosfato de sodio, particularmente en la
caliente capa límite que está en contacto con la
superficie de calefacción. Esto explicaría su
bien conocidos efectos de propender a mantener
limpios los calentadores de superficie alimen-
tados con vapor de escape (*). Sin embargo,
para que esta acción tenga lugar es menester
un bajo pH (GINTRAC (62)).

El tanino tiene una acción defini-
da en relación con el uso de las poliamidas
usadas como anti-ebullicivo según se ve en
distintas patentes (65) a (73), pero esto exige
una exposición fuera del objeto del presente
trabajo.

Basándose en trabajos norteamer-
icanos, el ex-FCS (hoy FCGR, Argentina)
adoptó una dosis de 50 ppm de tanino de
quebracho a título de eliminador de oxígeno
que las aguas naturales contienen en
proporción de 5 a 8 ppm (76)(77). La
referencia (77) muestra que el extracto de
quebracho es el mejor eliminador de oxígeno
(en base al peso) cuando se lo compara ---//
(*), y el economizador que el autor incorpora al
ciclo térmico.

"... con el de catecu, abeto, gambir de la India, zumague, mirobelano, castaño y abeto. 5 ppm de O_2 necesitan 37 ppm de tanino seco (extracto de quebracho) a temperatura ambiente, en tanto que las más altas temperaturas y presiones "... parecen favorecer" ... la absorción (77). Los experimentos de que se habla en (77) indican que la alcalinidad favorece la eliminación de oxígeno. Los valores aquí recomendados (1000 a 3000 ppm de Na_2CO_3) darían por resultado una eliminación cercana al 60 a 70% de la que se obtiene con 10000 ppm de Na_2CO_3 ; valor este último por encima del cual no se observa más eliminación.

Apendice

A. 4.2 Análisis típicos de las aguas del
Distrito Tucumán, FCGB (Argentina).

		Max	Min	Prom. aritm.
Ca^{++}	ppm	82	8	44
Mg^{++}	"	61	1	15
$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	"	635	16	171
Cl^{-}	"	426	7	89
$\text{SO}_4^{=}$	"	509	29	156
$\text{CO}_3^{=}$	"	0	0	0
CO_3H^{-}	"	732	146	309
SiO_2	"	35	10	22
Residuo a 105°C	"	2053	236	649
Alc. total, en CaCO_3	"	350	120	256
Dureza total	$^{\circ}\text{F}$	34.5	4	17.6
Dureza no carbonática	"	8	0	0.9

Se observa que el Mg es un tercio del Ca.
La sílice es muy alta.

Análisis de las aguas de la línea Volcán - La Quiaca

	Volcán	Prismasera	Haimera	Tilcara	Huacalera	San Juan	Pérez	Humahuera	Deuste	Tres Cruces	Abra Pampa	Puerto del Marques	La Quiaca	Max	Min	Promedio aritmético
Ca ⁺⁺	59	84	60	56	157	69	61	150	70	55	30	77	157	308	77	77
Mg ⁺⁺	15	36	28	29	31	11	13	35	15	6	6	18	36	6	20	20
Na ⁺ y K ⁺	35	138	102	77	172	111	65	141	33	53	36	8	172	33	88	88
Cl ⁻	12	92	71	57	135	57	43	71	21	35	28	71	135	12	58	58
SO ₄ ⁼	15	192	125	86	307	144	115	442	106	86	38	125	442	15	148	148
CO ₃ ⁼	12	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	3	3
CO ₃ H ⁻	281	342	268	317	311	281	104	207	216	170	122	281	342	122	242	242
SiO ₂	30	20	25	15	40	15	20	25	25	35	40	35	40	15	27	27
Residuo a 105 °C	316	745	567	501	1063	545	420	1028	272	356	239	553	1063	259	550	550
Alcalinidad total, Ca CO ₃	250	280	260	260	360	230	170	270	170	140	100	230	370	100	228	228
Dureza total	208	360	268	262	506	218	208	520	238	164	102	268	102	360	277	277
Dureza no carbonática	0	80	0,8	0,2	13,6	0	3,8	25,0	6,8	2,4	0,2	3,8	25,0	0	5,4	5,4

Se observa la presencia de arrendante Mg y alta SiO₂.

Apéndice

A4.4 El tratamiento fosfático como complemento del tratamiento carbonático en las calderas de locomotoras.

La sola objeción al uso de un tratamiento fosfático para el agua de las calderas de locomotora es su costo (quizá pronto su escasez). Si se toma la máxima ventaja posible de los beneficios que proporcionan los anti-escumadores de que hoy se dispone a fin de poder trabajar con altas alcalinidades, no hay dificultad en trabajar con exceso de Na_2CO_3 .

Por otra parte, el fosfato ha de proveerse en cantidad tal que se combine con la dureza permanente, sino también con la temporaria. En el tratamiento carbonático, la naturaleza provee de precipitante a la segunda.

En el tratamiento carbonático, algo de incrustación se adhiere a las superficies, la que no es redisolta por el medio alcalino presente. Esto ocurre, por ejemplo, por causa de una falta temporaria de Na_2CO_3 , o bien por adherencia de lodos. Es así que sólo una de las 12 locomotoras sujetas a experimentación en la línea Volcan- de Quiriaca (*) estaba provista de dosadores automáticos. Si bien las superficies de calefacción estaban técnicamente limpias, las de la máquina N°-868 (con dosador) aparecían en mejor condición luego de un año de trabajo.

La propuesta es de aplicar, durante un tiempo limitado y ce cuando en ...

(*) bajo control del autor.

1/11... vez (p. ej. una semana por año), un tratamiento fosfórico completo conforme lo requiere la estequiometría de la dureza entrante más la de la pequeña cantidad de incrustación adherida luego de ese año. Ha de agregarse también tanto Na_2CO_3 cuanto sea necesario para mantener una alta alcalinidad, la que debe ser tal que

$$\text{NaOH} \geq 10\% \text{ del TSS.}$$

De ese modo el precipitado no será adherente.

Esta propuesta aún no ha sido ensayada. Se fundamenta en el hecho de que el producto de solubilidad del fosfato de calcio es mucho menor que el del CaCO_3 , por lo cual todo cristal remanente de CaCO_3 es redisolto y reprecipitado en forma de fosfato de calcio. El consumo de fosfato es así reducido a un mínimo, especialmente si el tratamiento se practica cuando la locomotora está detenida para trabajos de mantenimiento, con lo cual se excluye el tratamiento de la dureza que hubiera entrado si la locomotora hubiera estado trabajando.

Ha de asegurarse la presencia de unas 20 a 40 ppm de $\text{PO}_4^{=}$ en caldera. En esto, la técnica de análisis ha de prever una centrifugación que asegure la cristales de fosfato en el filtrado, los que darían lugar a errores en el análisis.

Agradecimientos.

Es importante destacar que el tratamiento aquí presentado es el resultado de un conjunto de esfuerzos y contribuciones de personas del más variado nivel, así como de instituciones cuyo apoyo ha ido más allá de sus naturales obligaciones. Gran parte de la labor experimental se llevó a cabo en el FCB (Argentina), cuya administración, facilitó la locomotora N° 1802 con un tren constituido por un vagón cisterna, un dinamómetro, dos coches laboratorios químicos, coches vivienda, etc. amén de la organización de los trenes de prueba. Esto se agradece en las personas de sus entonces gerentes Cnel. E. MARTINEZ e Ing. J. BALIÑO, cuyo personal empeño permitió realizar un programa de pruebas cuya extensión superó por muchos trabajos anteriores.

El autor trabajó asistido por una comisión de personal técnico del FCB integrada por el Sr. M. ANTONELLI ya citado, H. PINTO, M. EUSEPI, M. ANDRADA y J. CASSELLA de la División Controladores Técnicos del citado ferrocarril; por los Sres. M. ESCUDERO y L. GERVASIO como Inspectores de Locomotoras; J. VERA, A. VENTURINI, A. GARCIA, N. RUIZ, M. ROBLEDO y A. CATIVA, maquinistas del gremio La Fraternidad, el último como técnico dinamométrico, por los Sres J. LENO y ..., ajustadores, y personal auxiliar, cuyo esforzado empeño y su contribución con ideas y conocimientos prácticos deben ser especialmente señalados.

Lo propio por parte del Sr. A. CEVA destacado por el entonces Presidente de Ferrocarriles Argentinos, --- III

III... Gen. Juan C. DE MARCHI. En el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, sede del autor, se agradece el interés tomado por su entonces Presidente, Ing. S.M. del CARRIL, quien participara de algunas de las corridas de prueba; del entonces Director de Centros Dr. G. MENDIVELEZÚA y del entonces jefe del Dto de QUÍMICA, Dr. J. GÓMEZ ARTERO, a cuyas órdenes trabajó la Dra. C. CRISTALINI, quien sintetizó el anti-ebullicio mencionado en el trabajo. Y como broche de oro de tan brillante equipo, ha de mencionarse todo el personal del CID (Centro de Investigación Documentaria de INTI) cuyos afanes aparecen reflejados en el centenar de referencias bibliográficas que se han incluido y sin cuyo aporte no hubiera sido posible materializar los logros obtenidos.