

UNIVERSIDAD DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

CONTROL QUIMICO DE LAS AGUAS DE ALIMENTA-
CION Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE CALDERA
DEL INGENIO CENTRAL EJIDAL
"EMILIANO ZAPATA", ZACATEPEC, MOR.

TESIS

que para su examen
profesional de

QUIMICO

presenta el pasante

ASHTON S. RAIMOND GONZALEZ GALLARDO.

PUEBLA.
1946.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A LA SAGRADA MEMORIA DE MIS PADRES.

A D. ELIZABETH

como un homenaje de cariño y admiración.

Con respeto y cariño a mi tío:

Sr. Ing. ALFONSO GONZÁLEZ GALLARDO,

Subsecretario de Agricultura y Fomento.

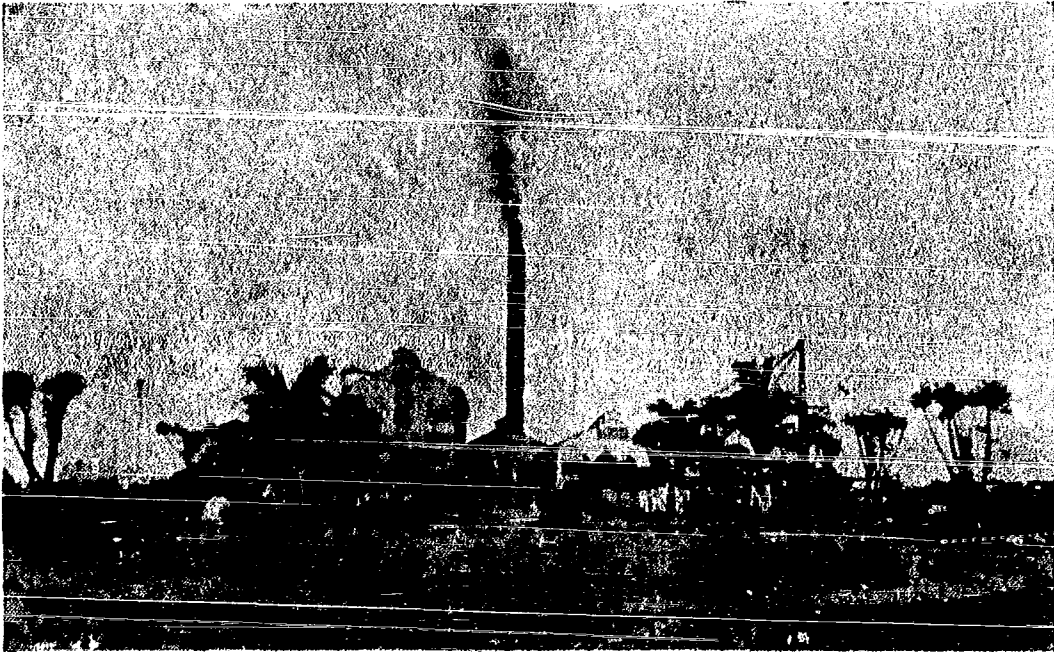
A MIS TIOS

A MIS HERMANOS.

COMO UN TESTIMONIO DE CARINO Y GRATITUD,
A MIS AMIGOS:

- Ing. Quím. Antonio Santaacruz Carral y familia.
Mr. Joseph Molnar.
Sr. Gabriel Flores y familia.
Dr. Manuel Carvajal y familia.
Sr. José Montes de Oca y familia.
Ing. Quím. José Ma. Ortega.
Dr. en C. Eduardo Caballero.
Quím. Héctor Murillo.
Dr. Vicente Suárez Soto.
Quím. Manuel Ibáñez y familia.
Quím. Roberto Suárez Soto.
Químs. Ma. de los Angeles y María Teresa Mellado y Fam.
Dr. José López Vallejo.
Quím. Manuel Vasconcelos.
Sr. Daniel Mosqueira y familia.
Sr. Felipe Derflingher y familia.
Ing. Rafael Casas Saucedo.
Ing. Angel Rosales de la Mora.
Dr. Rafael Angel Gloria.
Dr. Jesús Ferral Mercado.
Srita. Artemia Rivas y familia.
Quím. Mercedes Morales.

Hago presente mi agradecimiento al señor Químico Alvaro Porta López, Director de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Puebla, por los favores recibidos en el curso de mi carrera.



Ingenio Central Ejidal "EMILIANO ZAPATA".

CONTROL QUIMICO DE LAS AGUAS DE ALIMENTACION Y
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE CALDERA DEL
INGENIO CENTRAL EJIDAL "EMILIANO
ZAPATA", ZACATEPEC, MOR.

HONORABLE JURADO:

Este trabajo no representa nada nuevo. Es únicamente el resultado de la observación directa del sistema de "ablandamiento" de las aguas cocidas y del control químico de las aguas de alimentación de las calderas del Ingenio Central Ejidal "EMILIANO ZAPATA", de Zacatepec, Mor., durante el lapso comprendido del 22 de diciembre de 1944 —fecha que se inició la zafra 1944-1945—, al 20 de febrero de 1945. Comprende pues, 69 días de zafra, periodo considerado como razonable para darse una idea bastante aproximada del estado de la Casa de Calderas. En esta tesis se hace, asimismo, un estudio comparativo entre dos distintos tipos de desincrustantes usados sucesivamente: el "Renault" y el "Nalco", con las correspondientes gráficas de los reportes analíticos diarios, para juzgar de su eficacia.

Por último, se hace una especie de resumen de la labor encomendada a los Químicos de la Casa de Calderas en ese Ingenio.

Ojalá y que mi trabajo sea acogido con benevolencia por ustedes, señores del Jurado, y perdonen los errores en que seguramente habré incurrido. Si tal objeto alcanzase, altamente honroso me sería el saber que con mi esfuerzo he contribuido a conservar el prestigio del Viejo Colegio Carolino.

Ashton Raimond.

INDICE

CAPITULO	I.—Datos generales de la Casa de Calderas.— División del trabajo	19
CAPITULO	II.—Datos sobre el equipo para la producción de vapor.—(Refinería y Fábrica de Alcohol)	22
CAPITULO	III.—Fuentes de abastecimiento de agua; reportes analíticos de las distintas aguas consumidas por el Ingenio	24
CAPITULO	IV.—Tabla de Equivalencias de Unidades (Utiliza- das en este trabajo)	38
CAPITULO	V.—Aguas industriales. Planteación del problema	40
CAPITULO	VI.—"Dureza" del agua. Sistemas empleados para "suavizarla". Tratamiento externo	65
CAPITULO	VII.—Tratamiento Interno. Sistema de "ablanda- miento" empleado en el Ingenio "Emiliano Zapata". Tipos de desincrustantes patentados empleados en la zafra 1944-1945 y resulta- dos comparativos obtenidos	70
CAPITULO	VIII.—Control Químico: a) Preparación de los reac- tivos: b) Manera de realizar los análisis prin- cipales (De rutina)	81
CAPITULO	IX.—Interpretación de los resultados analíticos ob- tenidos	93
CAPITULO	X.—Control del Aparato Medidor de Combustión marca "Hays"	109
CAPITULO	XI.—Azúcar en las aguas de alimentación de cal- deras	117
CAPITULO	XII.—Promedios Diarios y Promedios Finales de los	

ERRATAS NOTABLES

página	línea	dice	debe decir
20	21	ph	pH
28	11	sódico	sódico
103	34 y 35	resultato	resultado

CAPITULO I

DATOS GENERALES DE LA CASA DE CALDERAS.

DIVISION DEL TRABAJO.

La Casa de Calderas del Ingenio Central Ejidal "Emiliano Zapata" en Zacatepec, Estado de Morelos, tiene a su cargo el control químico de las aguas de alimentación de las calderas así como el de las aguas cocidas que proporcionan el vapor necesario tanto a la Fábrica de Azúcar (Refinería) como a la Fábrica de Alcohol. Tiene igualmente a su cargo el sistema de "ablandamiento" o "suavizamiento" de las aguas de caldera mediante el empleo de desincrustantes químicos patentados, bajo la supervisión de los técnicos de "Aluminatos de México, S. A." distribuidores de los productos "NALCO" (Apócope de "National Aluminate Corporation".)

Así pues, el personal de la Casa de Calderas efectúa diariamente el número de análisis que considera necesarios de las diversas clases de aguas: cocidas, de alimentación, de condensados, crudas, etc. Del resultado de sus análisis calculará la dosis de desincrustante que deba de agregarse a las aguas cocidas en el interior de las calderas, así como cualquier modificación que se le haga al tratamiento respectivo.

Otra de las obligaciones de los Químicos de la Casa de Calderas, es el control de Medidor de Combustión marca "HAYS", que es un aparato que opera directamente sobre el principio de Orsat de medición volumétrica y absorción química, así como también la manipulación del Aparato de Orsat que al igual que el anterior, es un analizador de los gases de la combustión y que opera bajo el mismo principio. Su única diferencia estriba en que el primero es automático y fijo mientras que el segundo es de operación manual y es portátil.

Llévanse a cabo también, diariamente, —mientras dura el funcionamiento de las calderas— el análisis de los condensados de retorno

procedentes de los Calentadores de Guarapo, Evaporadores, Tachos y Calentador de Azúcar Fundido: análisis de las aguas del Tanque de Almacenamiento de Agua Caliente, del Tanque de Agua de Alimentación de las calderas y de la Bomba de Alimentación de Agua, en fin, de todas las aguas procedentes de la condensación y que mezclándose con la cruda constituye el agua de alimentación de las calderas que servirá para la producción de vapor. En estas aguas de condensados se investiga su posible contaminación por azúcar de los jugos y meladuras debido a infiltraciones.

Los reportes de los análisis y trabajos que diariamente se realizan por los Químicos de la Casa de Calderas, se llevan en un libro especial, rindiéndose además en cada "corrida" un resumen de la labor desarrollada, independientemente de la construcción de gráficas con los resultados analíticos obtenidos a diario en los catorce días que comprende una corrida completa.

Los resultados de los análisis de las aguas cocidas que se llevan a cabo todos los días, tres veces por lo general: 8, 15 y 23 horas, se reportan en una forma especial, por triplicado, con los siguientes datos:

ANALISIS AGUA CALDERAS	
Fecha	Hora
ph
Dureza
Alcalinidad Total
Alcalinidad Fenolftaleína
Cloruros
Sólidos Totales
Sólidos Disueltos
QUIMICO	

El original (de color blanco) y el triplicado (de color rosa) se entregan al Departamento de Ingenieros, y el duplicado (de color azul) se entrega, en seguida de terminado el análisis, al Jefe de Turno de la Refinería.

Para cumplir su labor, la Casa de Calderas contaba al iniciarse la zafra 1944-1945, con dos Químicos titulados y un Practicante, (Pasante de Químico), entre los cuales se dividía el trabajo encomendado.

Para una división lógica del trabajo a desarrollar en esta tesis, va a dividirse en varias partes:

- 1o.—Datos sobre el equipo para la producción de vapor (De la Fábrica de Azúcar y de la Fábrica de Alcohol.)
- 2o.—Fuentes de abastecimiento de agua; reportes analíticos de las distintas aguas consumidas por el Ingenio.
- 3o.—Tabla de Equivalencias de Unidades (Utilizadas en este trabajo).
- 4o.—Aguas industriales. Planteación del problema.
- 5o.—"Dureza" del agua. Sistemas empleados para "suavizarla". Tratamiento Externo.
- 6o.—Tratamiento Interno. Sistema de "ablandamiento" empleado en el Ingenio "Emiliano Zapata". Tipos de desincrustantes patentados empleados en la zafra 1944-1945 y resultados comparativos obtenidos.
- 7o.—Control Químico: a) Preparación de los reactivos; b) Manera de realizar los análisis principales (de rutina.)
- 8o.—Interpretación de los resultados analíticos obtenidos.
- 9o.—Control del Aparato Medidor de Combustión marca "Hays"
- 10o.—Azúcar en las aguas de alimentación de calderas.
- 11o.—Promedios Diarios y Promedios Finales de los Reportes Analíticos de la Casa de Calderas.

CAPITULO II

DATOS SOBRE EL EQUIPO PARA LA PRODUCCION DE VAPOR

(Refinería y Fábrica de Alcohol)

El Ingenio "Emiliano Zapata" contaba, durante la zafra 1944-1945, con cuatro Calderas "Babcock & Wilcox". Quemán bagazo y se controlan por manejo manual. Sus principales características, son:

POTENCIA: 1000 BHP.

PRESION: 18 Kg./cm² = 256.0175 lbs. pulgada² = 17.4161 atmósferas (Que corresponden a unas calderas que funcionan a presiones bajas y moderadas.)

RECALENTADOR: 137 m² = 1474.6543 pies².

TIPO: horizontal acuotubular.

SUPERFICIE DE CALEFACCION: 894 m² = 9622.9266 pies².

* * *

El volumen de agua que entra a las calderas varía con la intensidad de la molienda y del trabajo en la Fábrica, desde 1.600,000 litros hasta 2.200,000 litros por cada 24 horas. [Desde 422,673 galones (U.S.) hasta 581,175 galones (U.S.)]

No han existido medios para medir el agua cruda y la cocida, pero se calcula en 30% la primera.

* * *

Por lo que respecta a la Caldera de la Fábrica de Alcohol los únicos datos que poseo, son:

POTENCIA: 376 BHP.

Volumen de agua que entra a la caldera por cada 24 horas de funcionamiento: 141,308 litros = 37,329.49 galones (U. S.)

El funcionamiento de la caldera de la Fábrica de Alcohol fué deficiente por haber sido comprada de uso (a causa de la Guerra Mundial II) juntamente con el resto del equipo para la destilación de alcohol, de una Central cubana (Ingenio).

Desde el comienzo de la zafra, a las 6.30 horas del día 22 de diciembre de 1944 hasta el 21 de enero de 1945, el funcionamiento de las calderas fué intermitente, para el descanso de una de ellas (Limpieza y reparación), mientras las otras tres estaban en servicio. Debido al gran consumo de vapor requerido por la Refinería, desde el 22 de enero de 1945 hasta la terminación de la zafra 1944-1945 trabajaron sin interrupción las cuatro calderas de la Fábrica de Azúcar.

Para compensar las nuevas exigencias de vapor por parte de la Refinería —sin mengua de su eficiencia— debido a las modernísimas innovaciones que se implantaron para la extracción máxima de sacarosa de las mieles y en el sistema de macoración de jugos, fué necesario según se indicó, elevar la producción de vapor, lo cual motivó el trabajo conjunto de las cuatro calderas así como la instalación de una quinta caldera, que empezó a funcionar en la zafra 1945-1946 con la natural disminución de la fatiga mecánica del equipo.

CAPITULO III

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA. REPORTES ANALITICOS DE LAS DISTINTAS AGUAS CONSUMIDAS POR EL INGENIO

Para su funcionamiento, el Ingenio "Emiliano Zapata" de Zacatepec, Mor., dispone de cuatro fuentes de abastecimiento de agua:

1o.—Agua del Río Apatlaco, que pasa a espaldas del Ingenio.

2o.—Agua procedente del Manantial de Chihuahuita.

3o.—Agua de un pozo profundo perforado junto al Volteador de Caña.

4o.—Agua procedente del retorno de condensados.

La Refinería, para la producción de vapor emplea exclusivamente una mezcla de las aguas procedentes del retorno de condensados con agua cruda (del Manantial Chihuahuita), que repone la pérdida calculada en un 30% sobre el agua evaporada, y que satisfacen el consumo requerido. Únicamente en los casos en que por algún accidente (ya sea por rotura de la tubería que trae el agua desde Chihuahuita al Ingenio o por cualquiera otra causa) se interrumpe la llegada del agua del manantial, se toma agua del Pozo Nuevo para completar el volumen total de líquido exigido por la planta de vapor.

Las aguas del Río Apatlaco, por traer en suspensión gran cantidad de materia orgánica y otras impurezas, así como también muchas sales en solución, se emplea exclusivamente para la condensación y limpieza de la Fábrica. Una desviación del Río Apatlaco llega a un gran Tanque de Almacenamiento, a un lado de la Fábrica de Alcohol, de donde el Ingenio toma constantemente las cantidades que va necesitando.

Por lo que se refiere al agua del Pozo Nuevo, se emplea para la alimentación de la Caldera de la Fábrica de Alcohol, a pesar de su alto contenido en sales y tener mucha arena en suspensión.

Por último, las aguas procedentes del retorno de condensados, que son las aguas más puras, por proceder de la condensación del va-

por producido por las aguas cocidas y tratadas. Salvo contaminaciones accidentales, estas aguas que constituyen el 70% del volumen total exigido por las Calderas, requieren el mínimo de tratamiento, ya que su dureza es mínima (teóricamente debería ser cero) y la cantidad de sales que llevan en disolución es también muy corta. Ayudan al posterior tratamiento por la dilución que hacen del agua natural impura.

El 28 de diciembre de 1944, los empleados muestreadores de la Compañía "Aluminatos de México, S. A." (Representantes para la República Mexicana de la "National Aluminate Corporation"), tomaron diversas muestras de las aguas utilizadas por el Ingenio y que se analizaron en los Laboratorios con que cuenta dicha Casa en la ciudad de México. De los resultados analíticos hicieron un estudio que les sirvió de base para calcular y seleccionar el mejor tratamiento (a juicio de ellos) que conviniera impartir a las aguas de alimentación de Calderas. De los resultados de su estudio enviaron con fecha 4 de enero de 1945 las bases del nuevo tipo de tratamiento que se empleó con mayor éxito que ninguno de los otros desincrustantes patentados utilizados anteriormente por el Ingenio, mismos reactivos que han seguido aplicándose hasta la fecha, esto es, la zafra 1945-1946 ya terminada, que probó la bondad y eficacia del Desincrustante "NALCO" sobre otros productos similares.

Los reportes analíticos de las distintas aguas, son los siguientes:

ANALISIS NUMERO 1

Datos de la Muestra: Agua del Manantial de Chihuahuita.

Caracteres físicos: Transparente, sin sedimentos, sin olor.

Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir en "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

ANALISIS

COMBINACIONES PROBABLES

Total Sólidos Disueltos	15.1
Sólidos en Suspensión	—
Dureza Total (como CaCO ₃)	6.0
Dureza no-carbonatos (como CaCO ₃)	0.0
Dureza calcio (como CaCO ₃)	2.4
Dureza magnesio (como CaCO ₃)	3.6
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO ₃)	0.0
Alcalinidad P(BaCl ₂) (como CaCO ₃)	—
Alcalinidad Total M (como CaCO ₃)	6.5
Dióxido de carbono libre (como CaCO ₃)	0.4
Cloruros (como NaCl)	0.3
Sulfatos (como Na ₂ SO ₄)	1.6
Sílice (como SiO ₂)	2.5
Alúmina (como Al ₂ O ₃)	—
Fierro (como Fe)	—
Fosfatos (como PO ₄)	—
Aceite total	—
pH	7.4

Sílice	2.5
Alúmina	—
Oxido férrico	—
Carbonato cálcico	2.4
Carbonato magnésico	3.0
Sulfato cálcico	—
Sulfato magnésico	—
Cloruro cálcico	—
Cloruro magnésico	—
Hidróxido sódico	—
Carbonato sódico	5.3
Cloruro sódico	0.3
Sulfato sódico	1.6
Fosfato sódico	—

Materia formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 1.1

Materia formadora de no-incrustaciones, lbs.1000 gals. (U.S.) 1.0

OBSERVACIONES: Agua bicarbonatada, ligeramente silicosa.

ANALISIS NUMERO 2

Datos de la muestra: Agua del Pozo Nuevo.

Caracteres físicos: Transparente, sin sedimento y sin olor.

Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir en "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

ANALISIS

COMBINACIONES PROBABLES

Sólidos Disueltos Totales	32.2
Sólidos en Suspensión	—
Dureza Total (como CaCO_3)	24.0
Dureza no-carbonatos (como CaCO_3)	12.1
Dureza de calcio (como CaCO_3)	14.4
Dureza de magnesio (como CaCO_3)	9.6
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO_3)	—
Alcalinidad P(BaCl_2) (como CaCO_3)	—
Alcalinidad Total M (como CaCO_3)	11.9
Bióxido de carbono libre (como CaCO_3)	0.7
Cloruros (como NaCl)	1.0
Sulfatos (como Na_2SO_4)	17.4
Sílice (como SiO_2)	4.2
Alúmina (como Al_2O_3)	—
Hierro (como Fe)	—
Fosfatos (como PO_4)	—
Aceite total	—
pH	7.6

Sílice	—
Alúmina	—
Oxido férrico	—
Carbonato cálcico	—
Carbonato magnésico	—
Sulfato cálcico	—
Sulfato magnésico	—
Cloruro cálcico	—
Cloruro magnésico	—
Hidróxido sólico	—
Carbonato sódico	—
Cloruro sódico	—
Sulfato sódico	—
Fosfato sódico	—

Materia formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 4.4
Materia formadora de no-incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 0.1
OBSERVACIONES: Agua sulfatada, ligeramente silicosa.

ANALISIS NUMERO 3

Datos de la muestra: Tomada del Tanque de Condensados mezclados con agua cruda para alimentación de calderas.

Caracteres físicos: Transparente, sin sedimentos, con ligero olor a guarapo.

Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir en "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

ANALISIS

COMBINACIONES PROBABLES

Sólidos Disueltos Totales	3.6	Sílice	0.6
Sólidos en Suspensión	-----	Alúmina	-----
Dureza Total (como CaCO ₃)	1.4	Oxido férrico	-----
Dureza de no-carbonatos (como CaCO ₃)	0.0	Carbonato cálcico	0.9
Dureza de calcio (como CaCO ₃)	0.9	Carbonato magnésico	0.4
Dureza de magnesio (como CaCO ₃)	0.5	Sulfato cálcico	-----
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO ₃)	0.0	Sulfato magnésico	-----
Alcalinidad P(BaCl ₂) como (CaCO ₃)	-----	Cloruro cálcico	-----
Alcalinidad Total M (como CaCO ₃)	1.8	Cloruro magnésico	-----
Bióxido de carbono libre (como CaCO ₃)	0.4	Hidróxido sódico	-----
Cloruros (como NaCl)	0.4	Carbonato Sódico	0.4
Sulfatos (como Na ₂ SO ₄)	0.9	Cloruro sódico	0.4
Sílice (como SiO ₂)	0.6	Sulfato sódico	0.9
Alúmina (como Al ₂ O ₃)	-----	Fosfato sódico	-----
Hierro (como Fe)	-----		
Fosfatos (como PO ₄)	-----		
Aceite total	-----		
pH	6.9		

Materia formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.)	0.27
Materia formadora de no-incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.)	0.24

ANALISIS NUMERO 4

Datos de la muestra: Agua del Río Apatlaco.

Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir en "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

ANALISIS

Sólidos Disueltos Totales	-----
Sólidos en Suspensión	-----
Dureza Total (como CaCO_3)	24.3
Dureza de no-carbonatos (como CaCO_3)	10.5
Dureza de calcio (como CaCO_3)	15.7
Dureza de magnesio (como CaCO_3)	8.6
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO_3)	0.0
Alcalinidad $\text{P}(\text{BaCl}_2)$ (como CaCO_3)	-----
Alcalinidad Total (como CaCO_3)	13.8
Bióxido de carbono libre (como CaCO_3)	2.4
Cloruros (como NaCl)	0.5
Sulfatos (como Na_2SO_4)	11.8
Sílice (como SiO_2)	-----
Alúmina (como Al_2O_3)	-----
Fierro (como Fe)	0.03
Fosfatos (como PO_4)	-----
Aceite total	-----
Materia orgánica (como Oxígeno)	1.3
Turbidez (como SiO_2)	2.0
Relación $\text{SO}_4^{--}/\text{Cl}^-$	23.6
pH	7.0

COMBINACIONES PROBABLES

Sílice	-----
Alúmina	-----
Oxido férrico	0.04
Carbonato cálcico	13.8
Carbonato magnésico	-----
Sulfato cálcico	1.7
Sulfato magnésico	8.6
Cloruro cálcico	-----
Cloruro magnésico	-----
Hidróxido sódico	-----
Carbonato sódico	-----
Cloruro sódico	0.5
Sulfato sódico	1.3
Fosfato sódico	-----

Materia formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 3.47

Materia formadora de no-incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 0.26

OBSERVACIONES: Por no haberse determinado la sílice (SiO_2) no se incluyó ese dato al hacer los cálculos de la materia formadora de incrustaciones; consiguientemente, este resultado debe ser mayor.

Agua bicarbonatada, sulfatada. Contiene materia orgánica.

ANALISIS NUMERO 5

(De las aguas de condensados contaminadas por azúcares).

Datos de la muestra: Agua de los condensados, provenientes de los
Evaporadores y de los Tachos (Mezclados).

Caracteres físicos: Turbia, con pronunciado olor a guarapo.

Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir en "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

ANALISIS

COMBINACIONES PROBABLES

Sólidos Disueltos Totales	9.4	Silice	1.0
Sólidos en Suspensión	—	Alúmina	—
Dureza Total (como CaCO ₃)	4.7	Oxido férrico	—
Dureza de no-carbonatos (como CaCO ₃)	1.7	Carbonato cálcico	2.8
Dureza de calcio (como CaCO ₃)	2.8	Carbonato magnésico	0.2
Dureza de magnesio (como CaCO ₃)	1.9	Sulfato cálcico	—
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO ₃)	0.0	Sulfato magnésico	2.0
Alcalinidad P(BaCl ₂) (como CaCO ₃)	—	Cloruro cálcico	—
Alcalinidad Total M (como CaCO ₃)	3.0	Cloruro magnésico	—
Bióxido de carbono libre (como CaCO ₃)	0.4	Hidróxido sódico	—
Cloruros (como NaCl)	0.4	Carbonato sódico	—
Sulfatos (como Na ₂ SO ₄)	5.4	Cloruro sódico	0.4
Sílice (como SiO ₂)	1.0	Sulfato sódico	3.0
Alúmina (como Al ₂ O ₃)	—	Fosfato sódico	—
Hierro (como Fe)	—		
Fosfatos (como PO ₄)	—		
Aceite total	—		
pH	6.5		

Materia formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 0.8
 Materia no-formadora de incrustaciones, lbs./1000 gals. (U. S.) 0.5

34

ANÁLISIS COMPARATIVOS verificados por "Aluminatos de México, S. A." "Secretaría de la Economía Nacional" y por la compañía "W. H. & L. D. Betz" con las aguas del Manantial de Chihuahuita y del Pozo Nuevo. Resultados rendidos en granos por galón (U. S.)

Para convertir a "partes por millón = p.p.m." multiplíquese por 17.1

CONCEPTO	AGUA CHIHUAHUITA			AGUA POZO	
	Análisis verificado por:			Análisis verificado por:	
	Nalco	Economía Nacional	W.H. & L.D. Betz.	Nalco	W.H. & L.D. Betz.
Sólidos Totales	—	12.0	—	—	—
Sólidos Disueltos	15.1	11.5	—	32.2	—
Sólidos en Suspensión	—	0.52	huellas	—	huellas
Color	—	—	12	—	12
Turbidez (como SiO ₂)	—	—	0.23	—	0.2
Dureza Total (como CaCO ₃)	6.0	7.3	6.18	24.0	22.7
Dureza de no-carbonatos (como CaCO ₃)	0.0	0.0	0.0	12.1	10.5
Dureza de calcio (como CaCO ₃)	2.4	1.6	3.9	14.4	16.1
Dureza de magnesio (como CaCO ₃)	3.6	5.7	2.28	9.6	6.6
Alcalinidad fenolftaleína (como CaCO ₃)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alcalinidad P(BaCl ₂) (como CaCO ₃)	—	—	—	—	—
Alcalinidad Total M (como CaCO ₃)	6.5	7.3	6.18	11.9	12.2
Bióxido de carbono libre (como CaCO ₃)	0.4	—	—	0.7	—
Cloruros (como NaCl)	0.3	0.41	0.06	1.0	0.3

CONCEPTO	AGUA CHIHUAHUITA			AGUA POZO	
	Análisis verificado por:			Análisis verificado por:	
	Nalco	Economía Nacional	W.H. & L.D. Betz.	Nalco	W.H. & L.D. Betz.
Sulfatos (como Na_2SO_4)	1.6	0.47	0.47	17.4	12.1
Sílice (como SiO_2)	2.5	0.93	3.26	4.2	3.5
Alúmina (como Al_2O_3)	—	—	—	—	—
Fierro (como Fe)	—	0.0	huellas	—	huellas
Fosfatos (como PO_4)	—	—	—	—	—
Aceite total	—	—	—	—	—
Bicarbonatos (como CaCO_3)	6.5	7.3	6.18	11.9	12.2
Relación $\text{SO}_4^{--}/\text{Cl}^-$	5.3	1.1	7.83	17.4	40.3
Materia orgánica (en oxígeno)	—	—	—	—	—
pH	7.4	—	7.1	7.6	7.1

De la observación de los datos analíticos de las diversas fuentes de abastecimiento de agua, podrá el lector darse una idea de la complejidad del problema que tiene planteado el Ingenio en su Casa de Calderas. En efecto, en zafas anteriores debido al uso de desincrustantes inútiles y hasta nocivos, dejó mucho que desear el funcionamiento y conservación del excelente equipo de calderas con que cuenta esa factoría, problema que empezó a resolverse por el tratamiento más racional de las aguas ahora utilizado, aunado con una mayor atención de parte del personal encargado del equipo para la producción de vapor.

CAPITULO IV
TABLA DE EQUIVALENCIAS DE UNIDADES
(Utilizadas en este trabajo)

A.—UNIDADES DE MASA.

- 1 grano \equiv 0.06480 gramos.
- 1 onza (av.) \equiv 28.35 gramos.
- 1 libra (av.) \equiv 453.5924277 gramos \equiv 7000. granos.
- 2.20462 libras (av.) \equiv 1 kilogramo.

B.—UNIDADES DE VOLUMEN

- 1 galón (U.S.) de agua a 62° F. \equiv 3780.965 gramos.
- 1 galón Imperial (Inglaterra) de agua a 62° F. \equiv 4535.924 gramos.
- 1 litro de agua a 62° F. \equiv 998.878 gramos.

C.—UNIDADES DE PRESION

- 1 libra por pulgada cuadrada \equiv 0.068 atmósferas \equiv 2.307 pies de agua.
- 1 pie de agua \equiv 0.4335 libras por pulgada cuadrada.
- 1 atmósfera \equiv 14.7 libras por pulgada cuadrada \equiv 33.9 pies de agua.

D.—UNIDADES DE SUPERFICIE

- 1 pie cuadrado \equiv 0.09290 metros cuadrados.
- 1 metro cuadrado \equiv 10.7639 pies cuadrados.
- 1 pulgada cuadrada \equiv 6.4516 centímetros cuadrados.

E.—UNIDADES LINEALES

- 1 pulgada (U. S.) \equiv 2.54001 centímetros.
- 1 metro \equiv 39.37 pulgadas (U. S.)

F.—UNIDADES DE DUREZA

- 1 Grado Americano de Dureza \equiv 1 Grano CaCO_3 por Galón (U.S.)

- 1 Grado Inglés de Dureza (Grados de Clark) \equiv 1 Grano CaCO_3 por Galón Imperial.
- 1 Grado Francés de Dureza \equiv 1 parte CaCO_3 por 100,000 \equiv 0.583 Granos CaCO_3 por Galón (U.S.)
- 1 Grado Alemán de Dureza \equiv 1 parte CaO por 100,000 \equiv 0.583 Granos CaO por Galón (U.S.)
- 1 Grano por Galón (U.S.) \equiv 17.1526 partes por millón.
- 1 parte por millón (p.p.m.) \equiv 0.0583 Granos por Galón (U.S.)
- 1 parte por 100,000 \equiv 0.583 Granos por Galón (U.S.)
- 1 Libra por 1000 Galones (U.S.) \equiv 120 partes por millón \equiv 7 Granos por Galón (U.S.)
- 1 miligramo por litro \equiv 0.0583 Granos por Galón (U.S.)
- 1 Galón (U.S.) de agua a 62° F. \equiv 58349.2 Granos.
- 1 Galón Imperial de agua a 62° F. \equiv 70000 Granos.
- 1 pulgada cúbica de agua a 62° F. \equiv 252.585 Granos \equiv 16.3679 gramos.
- 1 pie cúbico de agua a 62° F. \equiv 436485 Granos \equiv 28283.764 Gramos.

G.—FORMULAS PARA CONVERTIR GRADOS FAHRENHEIT EN GRADOS CENTIGRADOS Y VICEVERSA

$$G_f = 9/5 G_c + 32 \quad G_c = 5/9 (G_f - 32)$$

Así por ejemplo:

Vamos a convertir 16.7° C. a grados Fahrenheit.

$$G_f = 9/5 (16.7) + 32 = 62.06 \text{ } ^\circ \text{ F.}$$

Y ahora, inversamente, convertiremos 62° F. en grados Centígrados.

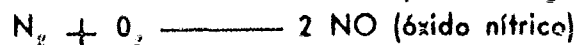
$$G_c = 5/9 (62 - 32) = 16.7 \text{ } ^\circ \text{ C.}$$

CAPITULO V

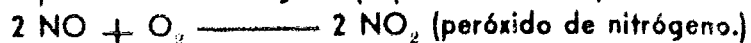
AGUAS INDUSTRIALES.—PLANTEACION DEL PROBLEMA

El problema del aprovechamiento de aguas para la industria es general. No estando dentro de los límites de este trabajo hacer un estudio cuidadoso de esta cuestión, nos limitaremos exclusivamente a esbozar sus puntos más salientes. Amplia literatura científica existe al respecto.

El agua, en su estado puro, es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Debido a su gran abundancia y a que a temperaturas convenientes es susceptible de cambiar de fase convirtiéndose en gas (vapor), resulta ideal para la conducción de calor y para la generación de fuerza. El agua es conocida como el disolvente universal debido a que la mayor parte de los cuerpos, simples o compuestos, se disuelven en ella en ciertas proporciones. Por esta razón es lógico pensar que el agua pura rara vez se encuentra en la naturaleza sino que siempre contiene gases y substancias en disolución así como materias sólidas en suspensión y que ha recogido a lo largo de su recorrido. Entre las aguas más puras pueden citarse en primer término, las de lluvia y después las de manantial y decimos "más puras" cuando en realidad se debieran denominar "menos impuras". En efecto, las aguas de lluvia llevan gases disueltos (como oxígeno, bióxido de carbono, etc.) y algunas sales (la más importante es el nitrato de amonio, que se forma bajo la acción de descargas eléctricas en las capas elevadas de la atmósfera). Las reacciones de formación del nitrato amónico, son las siguientes:



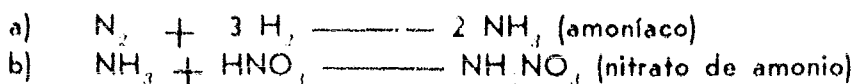
que se forma en atmósfera seca bajo la acción de la chispa eléctrica. El óxido nítrico se combina espontáneamente con el oxígeno del aire formando peróxido de nitrógeno (vapores rutilantes):



El peróxido de nitrógeno reacciona con el agua, formándose ácido nítrico y en parte se reduce:



pero el ácido nítrico reacciona a su vez con el amoníaco que también se forma en la atmósfera durante las tempestades, formándose nitrato de amonio que se disuelve en el agua de lluvia y fertiliza por lo tanto al suelo:



Encuétranse también en las aguas de lluvia partículas de polvo, bacterias en suspensión, etc., que contribuyen a impurificarlas.

Las aguas de manantial por proceder de ríos subterráneos son bastante puras; sin embargo, al atravesar ciertas regiones pueden solubilizar diversas cantidades de substancias que les imparten un carácter especial. Así por ejemplo, disuelven carbonatos de metales alcalinos, alcalino-térreos y de metales pesados (aunque estos últimos se encuentran en cantidad despreciable). Los carbonatos se encuentran bajo la forma de bicarbonatos, que son mucho más solubles:

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ corresponde a la calcita ó CaCO_3 ; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ corresponde a la giobertita ó MgCO_3 ; NaHCO_3 corresponde a la sal trona o "tequesquite" ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3 \longrightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$) así como a la termonatrita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y a la natrita ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$); bicarbonato potásico KHCO_3 , etc. Pueden disolver yeso (aguas selenitosas) ó sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$); dolomías o dolomitas, que son carbonatos dobles de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$); magnesita o carbonato magnésico (MgCO_3) impurificada frecuentemente con carbonato de fierro o siderita (FeCO_3); sal de Glauber o sulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$); sal de Epsom o epsomita o sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$); sulfuros diversos, como la pirita o marcasita o sulfuro de fierro (FeS_2); hematites roja u óxido férrico (Fe_2O_3); alúmina o corindón (Al_2O_3); arena, sílice, cuarzo o bióxido de silicio (SiO_2); melanterita o sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$); cloruros alcalinos y alcalino-térreos, como el cloruro sódico, halita o sal común (NaCl); cloruro potásico o silvita (KCl); carnalita o cloruro doble de potasio y magnesio ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$); el nitrato de calcio o nitrocalcita [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$]; nitrato de magnesio o nitromagnesita, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$; nitrato de sodio o nitro de Chile o nitrosoda (NaNO_3); nitrato de potasio o sal nitro o salitre (KNO_3), etc., etc.

En la Mesa Central encontramos principalmente que las aguas de pozo o manantial presentan siempre carácter alcalino debido a los

bicarbonatos disueltos siendo las aguas más puras que se pueden obtener de la naturaleza, aunque usadas para las calderas tiene propiedades corrosivas. En el Estado de Puebla, en las inmediaciones de los volcanes, por atravesar las aguas regiones ricas en compuestos sulfurados están cargadas de gas ácido sulfhídrico (H_2S) y sulfuros solubles, así como también son fuertemente carbonatadas y sulfatadas (aguas de "La Paz", "Agua Azul", etc.)

En el Norte del país el tipo de aguas es sulfatado y fuertemente silicoso. En las regiones cercanas a la costa y en los puertos (Mazatlán, por ejemplo), las aguas llevan en solución fuertes cantidades de cloruro sódico o sal marina, factor serio que complica el tratamiento de las aguas para calderas. En el Estado de Morelos, por atravesar las corrientes subterráneas estratos minerales ricos en sales de calcio, las aguas son muy duras y aún llegan a formar depósitos calcáreos, como sucede con las aguas del Río Amacuzac que formaron las estalagmitas y estalagmitas de las grandiosas Grutas de Cacahuamilpa, cercanas al Ingenio de Zacatepec.

En fin, las aguas ya sean de manantial o de pozo tendrán siempre los caracteres que les impartan las regiones porque atraviesan, y así, serán: alcalinas, cloruradas, carbonatadas, sulfatadas, ferruginosas, etc., sin que esto indique que sean de uno solo de estos caracteres sino por el predominio de uno sobre los demás.

El agua puede contaminarse ya sea por las impurezas naturales que recoge en el aire o en la tierra, por las descargas de drenajes o por los desperdicios industriales que son arrojados a los arroyos y ríos. Frecuentemente se contamina con aceites o productos usados en procesos industriales en los cuales se usa en estado líquido o como un medio para enfriar, o en estado de vapor como un medio de calefacción.

Principalmente en el invierno y en la primavera, el agua arrastra cantidades considerables de materias orgánicas indeseables provenientes de los vegetales en putrefacción. Los gases que impurifican principalmente al agua son el bióxido de carbono (CO_2) que es un producto natural de las combustiones y de la respiración de los seres vivientes, así como también se produce en la descomposición de sustancias orgánicas y como subproducto en multitud de reacciones químicas. El oxígeno, aunque es poco soluble en el agua, por encontrarse en grandes cantidades en el aire (forma el 21% en volumen y el 22.93% en peso) siempre se encuentra disuelto en proporciones variables en el agua:

A 0° C. un litro de agua pura disuelve 1797 cc. de gas CO₂.
A 15° C. un litro de agua pura disuelve su volumen de gas CO₂
(aproximadamente.)

* * *

A 0° C. un litro de agua pura disuelve 49 cc. de gas oxígeno.
A 15° C. un litro de agua pura disuelve 28 cc. de gas oxígeno
(aproximadamente.)

Pero el principal problema que representa el aprovechamiento de las aguas naturales para la producción de vapor, radica en las sales que lleva en disolución. No importa que para algunas sustancias sea corto su índice de solubilidad, ya que se compensa con los enormes volúmenes de agua usados a diario por la industria y que dejan una gran cantidad de sólidos como residuo. Estos sólidos originalmente disueltos, al irse concentrando más y más el agua de la caldera, llega un momento que saturan totalmente al solvente, por lo que al rebasar el valor de la constante de su producto de solubilidad se separan como sólidos en suspensión y como costras en las paredes de la caldera, provocando efectos nocivos en el equipo y un funcionamiento deficiente.

Los cuatro factores mencionados anteriormente: gases disueltos, sustancias minerales, materia orgánica (detritus) y desechos industriales, son los responsables de la complejidad del problema que representa el aprovechamiento de las aguas para la industria, con los resultados siguientes: 1o.—Incrustación; 2o.—Corrosión; 3o.—Espumaje (impropiamente llamado "fermentación"); 4o.—"Golpe inicial del agua", "disparo" o "lanzamiento"; 5o.—Fragilización cáustica o "cristalización quebradiza" (corresponden a la palabra inglesa "embrittlement"); 6o.—Sedimentación.

1o.—La INCRUSTACION consiste en la precipitación sobre las paredes metálicas de las calderas, en las tuberías, calentadores, bomba de alimentación, etc., de sales insolubilizadas, de sílice o arena, materias orgánicas coaguladas, cal, óxido de fierro u orín, etc.

2o.—La CORROSION consiste en el ataque al fierro de las paredes de la caldera por gases y ácidos previamente contenidos en el agua o formados por reacción química debido a las condiciones especiales existentes en el interior de la caldera, y que disuelven

al metal. El resultado inmediato será el natural debilitamiento y aun rotura de las placas metálicas, pudiendo esta acción ser general o localizada en ciertos puntos donde la actividad química sea mayor.

3o.—El ESPUMAJE es un arrastre de fase líquida en forma de burbujas que pasan a la línea de vapor. Es propiamente una contaminación del vapor con agua; cuando en la superficie del agua de la caldera se forman burbujas o espuma que después se escapan junto con el vapor, se dice que hay "formación de espuma" o "fermentación", fenómeno semejante a la formación de pompas de jabonadura.

4o.—"GOLPE INICIAL DEL AGUA" o "DISPARO" es un arrastre a la tubería y mecanismos propios para la fase gaseosa de la fase líquida en revolución con el vapor, sólo que en este caso el agua de contaminación ha arrastrado sólidos en suspensión, sólidos disueltos o ambos a la vez, por infiltraciones de aceites o grasas o bien por otras causas.

5o.—La FRAGILIZACION CAUSTICA consiste en la acción de ciertos agentes térmicos y químicos (exceso de hidróxidos) que hacen frágiles y quebradizas las paredes del tambor y tubos de la caldera.

6o.—La SEDIMENTACION es la acumulación de depósitos en los sitios donde es menor la circulación del agua.

* * *

"INCRUSTACION"

Las sales de calcio y de magnesio, la sílice, hierro, zinc, alúmina, etc., son las sustancias que pueden formar incrustaciones a menos que sea propiamente tratada el agua de caldera. Los bicarbonatos, principalmente los de calcio y de magnesio constituyen la llamada "DUREZA TEMPORAL", en tanto que los carbonatos neutros, sulfatos, cloruros y nitratos alcalino-térreos forman la "DUREZA PERMANENTE". La sílice se encuentra presente siempre en pequeñas cantidades, pero cuando aumenta su proporción por alguna causa provoca serios trastornos en el equipo.

Los carbonatos que llevan las aguas naturales, ya sea en suspensión o en solución, reaccionan con el bióxido de carbono disuelto para

formar los bicarbonatos, principalmente alcalinos y alcalino-térreos que son mucho más solubles y que a las elevadas temperaturas reinantes en las calderas, se descomponen así:



El carbonato neutro de calcio, CaCO_3 , es el principal constituyente de la dureza permanente del agua, así denominada porque no desaparece al hervir. Es casi insoluble en agua: Un litro a 20° C. disuelve 0.065 g. de la sal. El bicarbonato de calcio, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, o carbonato ácido de calcio, es apreciablemente más soluble en el agua que el carbonato neutro originando la llamada dureza temporal porque desaparece al hervir, debido a la descomposición de los bicarbonatos en carbonatos con desprendimiento de CO_2 .

El carbonato neutro de magnesio, MgCO_3 , es otro de los constituyentes de la dureza permanente del agua. Es casi insoluble en el agua a la que imparte una débil reacción alcalina debido a una ligera hidrólisis que sufre con formación de hidróxido de magnesio, $\text{Mg}(\text{OH})_2$. El bicarbonato de magnesio, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, o carbonato ácido de magnesio se comporta análogamente al bicarbonato cálcico.

Los carbonatos forman incrustación en las tuberías, calentadores, bomba de alimentación y tanques situados fuera de la caldera donde la temperatura es más baja que en el interior de la caldera en trabajo.

Los sulfatos, carbonatos y la sílice o arena, forman incrustaciones en el interior de las calderas. Los aceites y las grasas ayudan también a formar incrustaciones, ya que proporcionan el medio que mantiene unidas a aquéllas partículas que de otra manera tan sólo formarían un sedimento o lodo suelto.

Los carbonatos no siempre forman incrustaciones sino que también se separan como lodo o sedimento; sin embargo, por cocerse fácilmente este sedimento sí se forman incrustaciones.

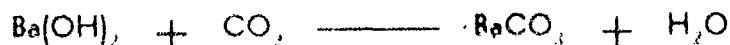
Las materias orgánicas indeseables, tanto las que recoge el agua durante su recorrido como las que provienen de descargas del drenaje o desechos industriales, pueden servir como medio de unión y a aumentar la tendencia del agua a formar incrustaciones, independientemente de sus propiedades corrosivas.

Las incrustaciones causadas por carbonatos se deben generalmente a la descomposición que sufren éstos a elevadas temperaturas, de-

positándose a veces directamente como costras en los tambores, en el cuerpo mismo de las calderas y en las tuberías. En otras ocasiones estos carbonatos forman un sedimento o lodo el cual se cuece con el calor convirtiéndose en incrustación, especialmente cuando el agua de alimentación contiene aceite o alguna otra sustancia orgánica nociva. Este tipo de incrustación se presenta generalmente en forma granular y algunas veces muy porosa. Los cristales de CaCO_3 examinados al microscopio, son grandes, generalmente unidos por partículas minúsculas de otras materias que hacen aparecer a la incrustación más compacta y uniforme. Químicamente se les identifica sumergiéndolas en un ácido diluido, que los descompone con desprendimiento de burbujas de CO_2 :



Si la reacción se verifica en un tubo de ensayo provisto de un tapón atravesado por un tubo de desprendimiento que vaya a dar a una solución de agua de barita, y calentamos suavemente, la solución de barita se enturbiará por precipitación de carbonato de bario:



Los sulfatos se separan formando incrustaciones debido a las diferencias en su solubilidad a diferentes temperaturas. Son generalmente menos solubles en el agua a las elevadas temperaturas que se registran dentro de la caldera que a las temperaturas ordinarias del agua fuera de ella. A medida que el agua escapa de la caldera en forma de vapor la concentración de sulfatos aumenta hasta alcanzar el valor de la constante de su producto de solubilidad, a partir del cual comienzan a separarse en forma cristalina directamente sobre las superficies de calentamiento, sin formar sedimento, actuando como medio de unión sobre cualquier materia en suspensión (lodos). A esto se debe que las incrustaciones de sulfatos sean mucho más duras y compactas que las de los carbonatos. Al analizarse esta clase de incrustaciones dan un resultado de 10 a 90% de sulfato de calcio, dependiendo la dureza de la costra de su porcentaje de yeso.

El sulfato de calcio o yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) es un constituyente de las aguas de mayor dureza (aguas selenitosas). El yeso es poco soluble en agua: 1 parte de sal en 400 a 500 partes de agua. Etimológicamente significa "tierra cocida" (del griego "γῆ", tierra y "ἔψελν", cocer, cocinar, calcinar.) El yeso cristalizado se conoce en Mineralogía

como "selonita". Su solubilidad en el agua aumenta con la elevación de temperatura hasta su máximo a los 40° C., y luego disminuye.

El sulfato de magnesio o epsomita ($MgSO_4 \cdot 7 H_2O$) es otro de los constituyentes de la dureza permanente del agua. Es muy soluble en el agua: 1 g. de la sal se disuelve en 1 cc. de agua a 25° C. y 0.2 cc. de agua hirviendo disuelven 1 g. de esta sal (según Rogers). Para Perry, 100 pts. de agua a 10° C. disuelven 62.4 pts. de $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ y a 100° C. se disuelven 401.5 pts.

El sulfato de sodio o sal de Glauber ($Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$) puede formar incrustación bajo ciertas condiciones: elevadas temperaturas y altas concentraciones hacen que cristalice parcialmente sobre las superficies de calentamiento. Al enfriarse la caldera el sulfato se redisuelve, debido a sus diferencias de solubilidad arriba apuntadas, de modo que al abrir la caldera para su limpieza no se observa ninguna incrustación de este tipo aunque en calderas con circulación baja o restringida pueden encontrarse incrustaciones localizadas de $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$.

La solubilidad de esta sal es, según Rogers:

100 cc. de agua a	0° C.	disuelven	12.5 g. de $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$
" " " " "	25° C.	"	66.67 g. " " "
" " " " "	34° C.	"	357.14 g. " " "
" " " " "	100° C.	"	238.1 g. " " "

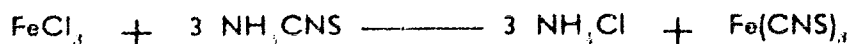
La incrustación formada por sulfatos es mucho más dura y compacta que la de origen carbonatado, porque los cristales de los sulfatos son más pequeños y se unen en forma mucho más compacta. Es más quebradiza y no se pulveriza fácilmente como la causada por carbonatos. Químicamente se reconoce por no hacer efervescencia al agregarles un ácido diluido y frío, pero en cambio se disuelve en ácidos minerales concentrados y en caliente.

La sílice, causante del 3er. tipo de incrustación, puede presentarse bajo varias formas: como bióxido de silicio o anhídrido silícico, SiO_2 , es muy poco soluble en agua; el ácido silícico, H_2SiO_3 , es muy soluble. Combinado con el sodio o el potasio como silicato de sodio (Na_2SiO_3) o silicato de potasio (K_2SiO_3) se encuentra frecuentemente en el agua. El silicato de sodio o vidrio soluble es el más común y al hervirse en la caldera con las sales de calcio o de magnesio forma silicatos de ambos cationes los cuales son muy insolubles y se precipitan directamente sobre el metal de la caldera sin formar sedimento.

La sílice, generalmente llamada "arena", a pesar de encontrarse

en minúsculas proporciones en el agua de alimentación, solubilizada o en suspensión, causa incrustaciones durísimas que tienen la apariencia de porcelana. Podemos considerar dos tipos de incrustaciones debidas a la sílice: la primera es semejante a la de los sulfatos precipitándose directamente sobre las superficies de calentamiento; la segunda se debe a que la sílice precipitada "se cuece" por efecto del calor pudiendo combinarse con el calcio o el magnesio para formar silicato de calcio o silicato de magnesio los cuales se dividen en partículas finísimas que se depositan entre las mallas de gruesos cristales de los carbonatos y sulfatos que se han formado con anterioridad, contribuyendo a que la incrustación sea más compacta y mejor aislante del calor. Los cristales de sílice son extremadamente pequeños y por lo tanto causan una incrustación muy compacta e impermeable, sumamente quebradiza y difícil de pulverizarse. Químicamente se reconoce por no ser soluble en ningún ácido y por ser de color muy claro.

El 4o. tipo de incrustación es el debido al hierro, que puede originarse ya sea por corrosión o por contaminación del agua con hierro. Es de color muy oscuro y por lo general no es muy dura, salvo que vaya acompañada de fuertes cantidades de sílice. Las incrustaciones de hierro son con frecuencia magnéticas y pueden ser atraídas por un imán. Químicamente se reconocen por ser solubles en ácidos minerales a caliente dando una solución de color café oscuro que presenta las reacciones típicas del catión fierro (Azul de Prusia, sulfocianuro férrico, etc.):



El sulfocianuro férrico es de color rojo sangre, soluble en agua y en éter. Esta reacción es muy sensible.



El ferrocianuro férrico o Azul de Prusia es de un color azul intenso, insoluble en agua, pero soluble en ácido oxálico, comunicando color azulado a la solución (tinta azul); también es soluble en ácido clorhídrico concentrado; pero vuelve a precipitar si se diluye con agua.

El 5o. y último tipo de incrustaciones son causadas por aceites o materias orgánicas; debido a la acción de la elevada temperatura y presión existentes en el interior de la caldera, se polimerizan formando grandes moléculas que al pasar al estado de geles se sedimentan for-

mando incrustaciones de color oscuro, ya sea café o negro, densidad ligera, fácil pulverización y son combustibles debido a su inestabilidad química.

Los aceites de origen animal causan además fermentación o espumaje; los aceites minerales se adhieren a las superficies de calentamiento y por sus efectos aislantes causan quemaduras semejantes a las producidas por las incrustaciones. Los aceites presentan una resistencia alrededor de 1000 veces mayor que la del acero al paso del calor. Los aceites vegetales pueden provocar espumaje y quemaduras en las tuberías, pero existen algunas clases de éstos, como el aceite de castor, que inhiben la fermentación o espumaje y el golpe inicial del agua debido a su acción coloidal sobre los sólidos disueltos del agua de calderas.

Los nitratos de calcio y de magnesio así como los cloruros de ambos cationes, más que formar incrustaciones su acción es más bien corrosiva por los ácidos que pueden originar al descomponerse. Otro tanto puede decirse de las sales de fierro (por ejemplo, el carbonato ferrroso o siderita: FeCO_3 ; la pirita o sulfuro de fierro; FeS_2 , etc.) Los ácidos liberados al atacar al fierro de los tambores y tuberías forman las sales de fierro respectivas que al quedar como materia en suspensión actúa como base para la acción cementante del sulfato de calcio.

Los carbonatos, cloruros y nitratos de sodio y de potasio no originan ni incrustaciones ni corrosión, pero al aumentar la concentración de sólidos disueltos causan el espumaje y el disparo o golpe inicial del agua. Acerca de los sulfatos alcalinos ya se trató de ellos anteriormente.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL DEPOSITO DE INCRUSTACIONES

Aguas de alimentación: determinense cloruros y sulfatos (Representense como Cf y Sf).

Agua de calderas: determinense cloruros y sulfatos (Representense como Cb y Sb) (Purgas).

Luego, si:

$\frac{Sb}{Sf} = \frac{Cb}{Cf}$ No hay costra de sulfatos que se deposite.

$\frac{Sb}{Sf} > \frac{Cb}{Cf}$ La antigua costra de sulfatos está siendo removida gradualmente. (En este caso, confróntense las relaciones cuidadosamente.)

$\frac{Sb}{Sf} < \frac{Cb}{Cf}$ Los sulfatos están depositándose donde quiera como costras. (Si se está produciendo esta precipitación debe haber alguna dureza en el agua de purga, necesitándose mejorar el tratamiento de alimentación.)

Estas determinaciones son de preferencia para aguas de tipo sulfatado como la del Pozo Nuevo del Ingenio "Emiliano Zapata".

No hay una medida exacta que permita determinar si una incrustación es blanda o dura. Aunque ya se citaron las características de ambas, puede decirse que aquéllas incrustaciones con elevado porcentaje de carbonato de calcio y relativamente pocos sulfatos y sílice, son blandas y fáciles de remover; inversamente, las incrustaciones que contienen grandes cantidades de sulfatos o de sílice o ambas, son duras y difíciles de remover. Generalmente se denomina a las primeras "incrustaciones carbonatadas" y a las segundas "incrustaciones sulfatadas" por el predominio de una sal sobre la otra. Varían grandemente en densidad, adherencia y porosidad, dependiendo de la naturaleza y de la cantidad de los compuestos de calcio, magnesio y sílice presentes así como de las condiciones como se depositaron.

Hall ha formulado los principios generales que rigen la formación de incrustaciones:

1o.—"Cuando soluciones acuosas conteniendo sustancias cuyas solubilidades aumentan con la elevación de temperatura, se concentran más allá de su punto de saturación, estas sustancias se depositan como lodos en las superficies de calentamiento y como costras adherentes en las superficies frías; si sus solubilidades disminuyen con el aumento de temperatura, se produce el efecto inverso."

2o.—"En la formación de una incrustación adherente, los principales constituyentes de la costra se depositan de la solución directamente como incrustaciones y no como partículas sólidas individuales que más tarde se aglomeran formando así la incrustación."

Una consecuencia directa de la incrustación es la pérdida de un fuerte porcentaje de calor. El profesor Schmid de la Universidad de Illinois ha formulado la Tabla siguiente para indicar el porcentaje de calor perdido, de acuerdo con el espesor de la incrustación formada:

PORCENTAJE DE PERDIDA DE CALOR

Espesor de la incrustación		Carbonatos	Carbonatos	Sulfatos
Expresado en:		Suaves	Duros	Duros
Pulgadas	Milímetros			
1/50	0.5	3.5%	5.25%	3.0%
1/32	0.79	7.0	8.3	6.0
1/25	1.0	8.0	9.9	9.0
1/20	1.27	10.0	11.25	11.0
1/16	1.59	12.5	12.6	12.6
1/11	2.3	15.0	14.3	14.3
1/9	2.8	—	16.0	16.0

Por ser las incrustaciones fuertes aisladoras del calor, provocarán en los sitios donde se acumulen sobrecalentamientos excesivos que pueden causar el ampollamiento del metal, su combadura y en casos extremos, su ruptura completa. La temperatura del metal aumenta directamente con el grosor de la incrustación e inversamente con la conductividad térmica de la misma. Las acumulaciones de costras en una caldera originan su desigual calentamiento y dilatación con la consiguiente distorsión de su estructura; pueden también formarse grietas de las placas metálicas entre los agujeros de remaches o entre éstos y los bordes de las placas, o fugas, etc. Además, la remoción de las incrustaciones es costosa cuando se ha permitido su acumulación.

Antes de atribuir toda la pérdida de calor a las incrustaciones conviene revisar la superficie de los tubos que queda hacia el lado del

fuego o el tambor de la caldera, que pueden haberse cubierto de hollín o de escoria, lo cual ocasiona pérdida calorífica. Es natural que este defecto no puede corregirse por el tratamiento adecuado del agua sino "soplado" el hollín frecuentemente.

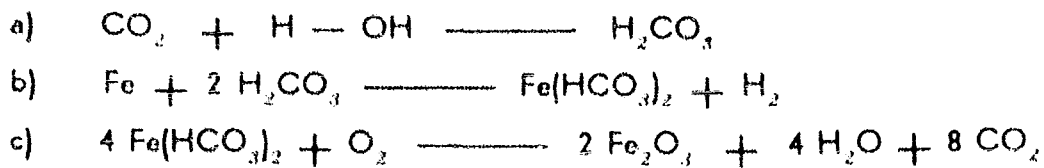
"CORROSION"

La corrosión es el deterioro o disolución de los metales por reacción química. Aunque la palabra "corrosión" es de uso general, para indicar el deterioro de las partes metálicas de una caldera, cabe hacer una división de dicho efecto, y así, habremos de distinguir entre corrosión propiamente dicha y picadura. La corrosión propiamente dicha, es por lo general uniforme y está bien distribuída sobre la superficie afectada; la picadura se sujeta a áreas determinadas y aparece en forma de agujeros pequeños que crecen con extraordinaria rapidez. Es uno de los peores enemigos de la caldera porque ataca al metal de la misma y sus efectos dañosos no pueden ser reparados mas que substituyéndola por una nueva. Es posible eliminar la incrustación y detener el espumaje, pero nada puede hacerse para destruir la corrosión que ya ha dañado al metal.

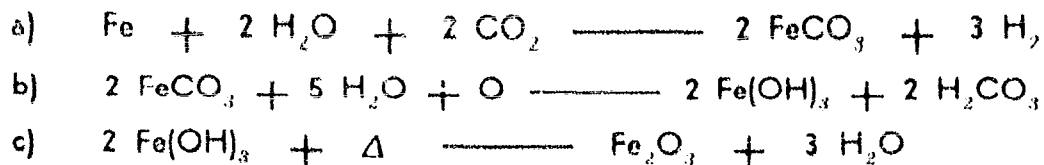
La corrosión puede presentarse en las líneas de alimentación, pero más a menudo ocurre en los economizadores y en la parte de la caldera que recibe el agua de alimentación que entra primero en contacto con el metal de la caldera. Se presenta también con mucha frecuencia en las tuberías de retorno de condensados.

Los factores que condicionan la corrosión son numerosos, pero los principales son los gases disueltos, sales corrosivas, la acidez y la acción electrolítica. De los gases disueltos los más importantes son el oxígeno disuelto y el bióxido de carbono. Al tratar acerca de las impurezas naturales que lleva el agua mencionamos a ambos gases, así como sus respectivas solubilidades.

Como anhídrido que es, el CO_2 se combina con el agua para formar ácido carbónico que le imparte reacción ácida; el ácido carbónico ataca al fierro de la caldera formando carbonato de fierro, que reacciona a su vez con el oxígeno disuelto formándose óxido férrico, sesquióxido férrico u óxido y poniendo en libertad CO_2 . Este gas a su vez vuelve a reaccionar con el agua para dar el ácido carbónico que atacará de nuevo al fierro, etc., formándose un círculo vicioso:



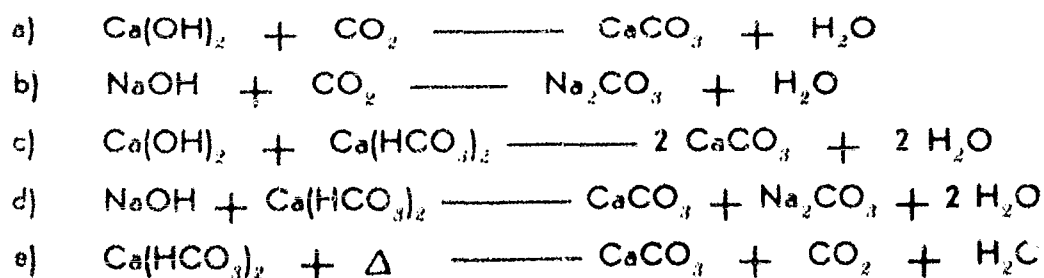
O también, podemos explicarnos esta reacción de esta otra manera:



El CO_2 proviene bien sea del que lleva el agua natural disuelto o del que procede de la descomposición de los bicarbonatos por el calor. El agua de calderas de plantas que trabajen a presiones moderadas deberá contener no más de 0.15 a 0.25 de oxígeno disuelto por litro para asegurar su no-corrosividad así como tener un pH = 9.6 como mínimo.

La corrosión causada por gases puede eliminarse por medios físicos, químicos o ambos. Los métodos más comunes consisten en el uso de calentadores, deaeradores o de desactivadores y en adicionar reactivos determinados al agua de alimentación para que reaccionen con el oxígeno y el bióxido de carbono disueltos.

Para eliminar el CO_2 de las aguas de alimentación (por tratamiento externo completo), se adiciona cal o sosa cáustica que reaccionan con el CO_2 disuelto y con los bicarbonatos y por último calentando el agua a ebullición en calentadores abiertos. Las reacciones producidas, son:

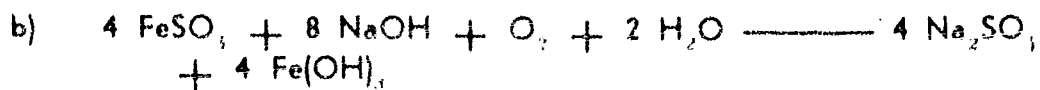


La deaeración al alto vacío reduce la presión parcial del CO_2 y descompone también los bicarbonatos.

Si la ebullición del agua en calentadores abiertos no elimina satisfactoriamente el oxígeno, puede usarse un deaerador o un desactivador o reactivos químicos. Un deaerador elimina el oxígeno y los gases

disueltos por reducción de la presión, por calentamiento o por ambos. Un deaerador elimina el oxígeno por reacción química con virutas o placas de hierro o de acero suspendidas en un tubo por el que pasa el agua.

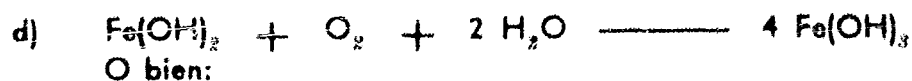
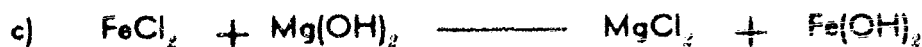
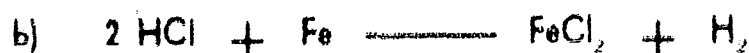
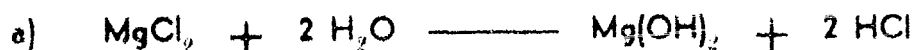
Los reactivos químicos usados para eliminar el oxígeno son: sulfito de sodio, sulfato ferroso, cromatos, ciertas materias orgánicas, etc. Usanse en el tratamiento externo. Las reacciones son las siguientes:

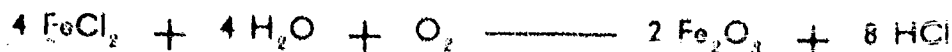


La cantidad de oxígeno disuelto del agua de alimentación se conoce por análisis volumétrico. Si se emplea el sulfito de sodio para eliminarlo, la cantidad teórica de sal se calculará sobre el resultado anterior en peso de oxígeno disuelto más una sobredosis, debido a las impurezas de la sal y a las pérdidas por purgas. De cualquiera manera, para prevenir los efectos corrosivos de este gas, deberá agregarse al agua de calderas 1.7 g.p.g. de sulfito de sodio (29 p.p.m.); el sulfato de sodio formado ayudará a evitar la fragilización cáustica, por efecto del ion común, al impedir la disociación de nuevas cantidades de carbonato de sodio que aumenten peligrosamente la concentración de iones oxhidrilo (OH^-) por el hidróxido sódico formado.

Otra de las causas que originan corrosión son debidas a la presencia de sales corrosivas: cloruro de calcio, nitrato de calcio, cloruro de magnesio, nitrato de sodio, cloruro de sodio, alumbre o sea sulfato doble de aluminio y potasio, y sulfato de fierro. Por las condiciones especiales existentes en el interior de la caldera, estas sales se hidrolizan poniendo en libertad ácidos corrosivos que atacarán al metal. Véanse los siguientes ejemplos:

1o.—Hidrólisis del cloruro de magnesio.

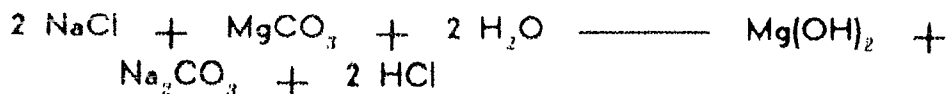




2o.—Cloruro de sodio con sulfato de magnesio.



3o.—Cloruro de sodio con carbonato de magnesio.



4o.—Cloruro de sodio con sílice.



5o.—Sulfato de aluminio.

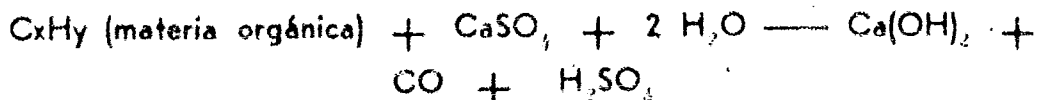


6o.—Sulfato ferroso.



Para prevenir el efecto de las sales corrosivas (que afortunadamente se encuentran por lo general en cantidades muy cortas), debe de existir en las aguas cocidas, siempre, un exceso de alcalinidad de 15 g.p.g. (255 p.p.m.) expresado como Na_2CO_3 , que equivale a una alcalinidad de sodio de 14.0 g.p.g. en términos de CaCO_3 . Las aguas de alimentación deben de tener una alcalinidad que exceda a 1 g.p.g. antes de entrar en la caldera.

Las aguas cargadas de desperdicios industriales o aquéllas que corren a inmediaciones de minas son sumamente corrosivas. La materia orgánica presente en aguas contaminadas (aceites, hidrocarburos, azúcares, etc.), al descomponerse da productos de reacción ácida que ocasionan corrosión y falsas lecturas de la alcalinidad:



La corrosión electrolítica se produce por formación de diferencias de potencial en partes diferentes de la caldera, generándose pequeñas corrientes eléctricas que ponen en libertad a oxígeno e hidrógeno, los que a su vez causan corrosión. Con la elevación de la temperatura aumenta la acción galvánica y por ende, la corrosión.

La corrosión aumenta con la temperatura.

Para prevenir la acción electrolítica corrosiva se suspenden placas de zinc dentro de la caldera, haciendo contacto eléctrico con el fierro. El hidrógeno producido por la electrólisis es liberado pasando a la línea de vapor; el oxígeno genera a la placa de zinc y forma óxido de zinc. Las placas deben substituirse una vez que se consumen.

"ESPUMAJE O FERMENTACION"

A la contaminación del vapor con agua o con sólidos se le llama "arrastres" y este concepto comprende a su vez los términos "hacer espuma" y "golpe inicial del agua". Cuando en la superficie del agua de la caldera se forman burbujas o espuma que después escapan junto con el vapor, se dice que hay "fermentación" (término impropio) o "espumaje", fenómeno parecido a la formación de pompas de jabonadura.

Hay tres clases de impurezas en el agua que causan el espumaje: materias sólidas en suspensión (de cierta clase), sólidos disueltos y materia orgánica. Los sólidos en suspensión finísimamente divididos, tales como las partículas de arena que generalmente se encuentran en el agua o en el sedimento resultante del tratamiento mismo y el calor de la caldera, tienden a formar espuma. Mientras más finas son las partículas en suspensión, mayor será la tendencia a la formación de espuma. Los sólidos disueltos causan formación de espuma cuando su concentración excede de ciertos límites, que para calderas fijas con tratamiento interno de sus aguas (como las del Ingenio "Emiliano Zapata" de Zacatepec, Mor.) no deberá ser mayor de 150 a 200 g.p.g. (U.S.), factor que debe de tenerse en cuenta para las purgas. Sin embargo, los sólidos disueltos no afectan considerablemente la tendencia del agua a formar espuma mas que cuando van acompañados de sólidos en suspensión finamente divididos o de materias orgánicas.

Algunas materias orgánicas de contaminación, tales como el aceite de lubricación, grasas, desperdicios del drenaje, detritus, etc., favorecen notablemente la tendencia de las aguas cocidas al espumaje, especialmente cuando se encuentran en ellas pequeñas partículas en suspensión.

Hay diversas teorías que tratan de explicar la causa de la formación de espuma. Una alta concentración de álcalis (NaOH y Na_2CO_3) en el agua de caldera puede originar fermentación. La más moderna

teoría sobre este defecto, afirma que cierta clase de sólidos en suspensión o de sedimentos son la causa de la espuma; las partículas finamente divididas tienden a congregarse sobre la película que envuelve las burbujas de vapor y las hace más resistentes, de manera que, cuando las burbujas de vapor ascienden hasta la superficie del agua, no se rompen sino que permanecen intactas, siendo así como se forma la espuma. También sostiene esta teoría, que mientras más finas son las partículas, mayor es el número de ellas que se acumula sobre las burbujas de vapor. Sin embargo, puede decirse con certeza, que la mayor parte de las sustancias que se encuentran en el agua de caldera causan "formación de espuma" cuando su concentración excede de ciertos límites.

Los sólidos arrastrados por el vapor pueden depositarse en las tuberías, recalentadores, turbinas, máquinas, trampas, o cualquier otro equipo donde se use el vapor. Cuando los sólidos se acumulan en los recalentadores o en las turbinas, donde la temperatura del vapor es alta, producen depósitos que generalmente son muy duros; cuando se acumulan en las trampas de vapor o en lugares donde el vapor está húmedo o en contacto con agua, los depósitos adquieren por lo general una estructura granular y son blandos.

Evitar el espumaje es un problema delicado por encontrarse en cortas cantidades las sustancias causantes del fenómeno, así como también por ser difícil encontrar un tratamiento que sea efectivo contra todas ellas. Las medidas más usuales consisten en bajar el nivel del agua de la caldera por medio de descargas o "purgas", que pueden ser intermitentes (como en las calderas del Ingenio "Emiliano Zapata", tanto las de la Refinería como la de la Fábrica de Alcohol; las 4 calderas de la Fábrica de Azúcar se purgaban tres veces al día de acuerdo con el horario siguiente: Purgas 8, 16, 24 horas. Fábrica de Alcohol: se purgaba seis veces diarias por su elevada concentración de sólidos disueltos) o continuas, partiendo del fondo o de la parte superior de la caldera.

Se evita la formación de espuma con el uso de antiespumantes que se adicionan a las aguas de alimentación junto con el tratamiento interno. Tales sustancias son el aluminato de sodio, aceite de castor o taninos. En el Ingenio se agregaba el producto patentado llamado Pulverizado No. 7 "NALCO". El aluminato de sodio y los taninos obran

como coagulantes y el aceite de ricino al cubrir la superficie del agua cocida con una película delgada impide la concentración allí, de sólidos finamente divididos. Además es difícilmente polimerizable.

"GOLPE INICIAL DEL AGUA O DISPARO"

Llámase "golpe inicial del agua" a la neblina que se forma a veces dentro de la caldera y que escapa junto con el vapor, siendo con frecuencia difícil de percibir. Siendo un arrastre de fase líquida por el vapor, su resultado directo será la formación de vapor húmedo impropio para un trabajo eficiente. Puede deberse a la mala construcción de la caldera, a graduaciones excesivas, a ciertas impurezas en el agua de alimentación o a fluctuaciones repentinas en la demanda de vapor.

El vapor húmedo obstrucciona los recalentadores o las turbinas; es corrosivo para estas últimas. aumenta el consumo de aceite en las unidades recíprocas, ocasiona trastornos en las líneas y trampas de vapor y reduce la eficacia de cualquier aparato en que se emplee esta clase de vapor.

"FRAGILIZACION CAUSTICA"

También se la conoce bajo la denominación "Cristalización Quebradiza". Consiste en el debilitamiento y rotura de las placas metálicas de la caldera ocasionado por la presencia de un porcentaje demasiado alto de sosa cáustica, en proporción con los restantes sólidos disueltos del agua de caldera.

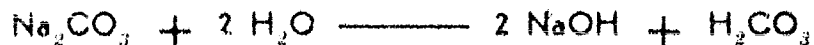
Es un fenómeno esencialmente físico-químico en el que las altas concentraciones de sosa cáustica (de 35% según la A.S.M.E. o superiores a 6000 g.p.g. de NaOH según Rich y Blanning) modifican la estructura intercrystalina del acero de las placas de la caldera haciéndolas frágiles y ocasionando su rotura, semejante a la de un vidrio estrellado, de donde toma el nombre de "cristalización quebradiza". Ataca generalmente a aquellas áreas de la caldera que se han forzado más allá de su punto de resistencia y que están situadas por abajo del nivel del agua.

Deben distinguirse las roturas causadas por la fragilización cáustica de las originadas por la "fatiga de corrosión". En tanto que las primeras son intercrystalinas y localizadas, las segundas son transcristalinas, ocasionando grietas o rajaduras que atraviesan y cortan los cristales sin importarles la constitución física del metal y atacando por igual

a toda la masa. Se produce debido a las tensiones y esfuerzos intermitentes que debilitan el metal y hacen que éste se raje o se separe. Esta fatiga de corrosión es acelerada por la presencia de diversos sólidos en el agua cocida y puede ocurrir en cualquier caldera de construcción defectuosa, sin importar cual sea la composición del agua de alimentación.

Derivando la alcalinidad cáustica de las aguas de caldera de los reactivos químicos del tratamiento empleado para "suavizarla", rara vez pueden alcanzarse valores tan altos como para que la sosa ataque a toda la caldera, pero los bordes de las juntas o costuras y los espacios alrededor de los remaches pueden irse llenando de sosa cáustica, siendo en estos sitios donde la concentración puede llegar a alcanzar el 30 o 35% produciéndose entonces el ataque del metal y su fragilización. Esta acción es más rápida en aquellas aguas con un bajo contenido de sulfatos, que inhiben la fragilización. Como inhibidores se usan el sulfato de sodio, fosfatos, tanatos, cromatos, nitratos y acetatos en cantidades adecuadas.

La sosa cáustica proviene bien sea que se agregue como tal o por la hidrólisis del carbonato de sodio:



La sosa formada aumentará incesantemente hasta alcanzar su punto de saturación si no se detiene su formación con un inhibidor. Para evitar este fenómeno puede hacerse uso del radical sulfato (SO_4^{--}), que es el más empleado, o del radical fosfato (PO_4^{--}); este último es alrededor de 1500 veces más efectivo que el ion sulfato.

INHIBICION DE LA FRAGILIZACION CAUSTICA POR EL ION SO_4^{--} .

Esto se logra por medio de una proporción adecuada entre el contenido de Na_2SO_4 y la alcalinidad total (expresada en Na_2CO_3). Aumentando la sal de Glauber, se reduce el porcentaje de sosa cáustica en relación con los demás sólidos del agua, de tal manera que cuando la sosa se concentra en los bordes de las costuras o alrededor de los remaches, su concentración nunca llega a ser lo suficientemente alta para causar fragilización. El sulfato de sodio se introduce junto con el óxido cálcico entre los mismos espacios, en un porcentaje mayor

que el segundo, y por consiguiente, no se alcanza el 30 ó 35% que se requiere para la cristalización.

La American Society of Mechanical Engineers recomienda las siguientes relaciones de Na_2SO_4 a Alcalinidad Total (como Na_2CO_3):

Presión de trabajo. Libras.	Alcalinidad Total. (como Na_2CO_3).	Relación	Sulfato de Sodio.
0-150	1	a	1
150-250	1	a	2
250 ó más	1	a	3

Para satisfacer las condiciones de la proporción SULFATOS, AL-
CALINIDAD TOTAL, el tratamiento se controla, ya sea:

- 1o.—Regulando el tratamiento del agua de alimentación para que la alcalinidad se conserve en la proporción debida, o si esto no puede llevarse a cabo con facilidad, entonces
- 2o.—Cambiar el tratamiento de sosa cáustica a carbonato de sodio, o bien
- 3o.—Agregar sulfato de sodio al agua de calderas, o bien
- 4o.—Agregar sulfato de calcio o sulfato de magnesio al agua cruda y "suavizándola" con soda ash, o bien
- 5o.—Tratar con ácido sulfúrico, o bien
- 6o.—Agregar bisulfato de sodio.

MODO DE HACER LOS CALCULOS.—Para conocer la cantidad en peso de Sal de Glauber que debe de agregarse contra la cristalización, es necesario conocer los siguientes resultados analíticos: Dureza Total (H), Alcalinidad a la fenolftaleína (P), Alcalinidad Total (M) y los Sulfatos (SO_4). Como los resultados P y M vienen expresados en g.p.g. de CaCO_3 , es necesario convertirlos en sus equivalentes reales de NaOH y Na_2CO_3 .

$$M - H = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Alcalinidad del sodio}$$

$$(M - H) - (2P - M) = \text{Na}_2\text{CO}_3$$

$$2P - M = \text{NaOH}$$

Para convertir g.p.g. CaCO_3 en g.p.g. Na_2CO_3 , se divide el resultado en CaCO_3 por el factor 0.94 que nos dará el peso en g.p.g. de soda ash. Si preferimos usar su recíproco: $\frac{1}{0.94} = 1.06$ bastará multiplicar el resultado expresado en CaCO_3 por 1.06 que nos dará igualmente el peso en g.p.g. de soda ash.

Para convertir g.p.g. CaCO_3 en g.p.g. NaOH , se divide el resultado en CaCO_3 por el factor 1.25, que nos dará el peso en g.p.g. de sosa cáustica. Si preferimos usar su recíproco: $\frac{1}{1.25} = 0.8$ bastará multiplicar el resultado expresado en CaCO_3 por 0.8 lo que nos dará igualmente el peso en g.p.g. de sosa cáustica.

El eje de las abscisas representará los distintos valores de la relación $\frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{NaOH}}$ e irán marcadas de dos en dos centímetros con los números 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc.

Levantada la gráfica trazamos una recta uniendo el punto 2 del eje de las ordenadas con el punto 2 del eje de las abscisas, que representará la proporción de seguridad SULFATOS/ALCALINIDAD TOTAL para aguas de calderas que trabajen a presiones moderadas, como las del Ingenio "Emiliano Zapata". El triángulo comprendido entre ambos ejes y la recta que trazamos indicará la Zona de Peligro o Aguas Peligrosamente Alcalinas capaces de causar la fragilización cáustica de las placas de las calderas, por ser inferior a 2 la proporción Sulfatos/Alcalinidad Total. La superficie de la gráfica situada por fuera de la Zona de Peligro representará la Zona de Seguridad, donde la relación Sulfatos/Alcalinidad Total es mayor de 2.

Veamos dos ejemplos tomados de los reportes analíticos de las aguas cocidas de la Refinería. Únicamente es supuesto el valor SO_4 , por no hacerse su determinación entre los análisis de rutina.

1er. ejemplo:

$$\begin{aligned} SO_4 &= 13.7 \text{ g.p.g. (como } Na_2SO_4) \\ H &= 0.9 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \\ M &= 8.76 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \\ P &= 5.84 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \end{aligned}$$

$$\text{Luego, } M - H = 8.76 - 0.9 = 7.86 \text{ g.p.g. NaOH} + Na_2CO_3 \text{ (como } CaCO_3) = \text{Alcalinidad del sodio (NaA)}$$

$$(M - H) - (2P - M) = 7.86 - (11.68 - 8.76) = 4.94 \text{ g.p.g. } Na_2CO_3 \text{ (como } CaCO_3)$$

$$2P - M = 11.68 - 8.76 = 2.92 \text{ g.p.g. NaOH (como } CaCO_3)$$

Y sacando los equivalentes respectivos, tendremos:

$$4.94 \times 1.06 = 5.24 \text{ g.p.g. } Na_2CO_3 \text{ real.}$$

$$2.92 \times 0.8 = 2.34 \text{ g.p.g. NaOH real.}$$

Relación a)	$\frac{Na_2SO_4}{NaOH} = \frac{13.7}{2.34} = 5.85$
Relación b)	$\frac{Na_2CO_3}{NaOH} = \frac{5.24}{2.34} = 2.23$

Llevamos ambos valores a nuestra gráfica, determinamos el punto respectivo y vemos que éste cae dentro de la Zona de Seguridad, por lo que deducimos que nuestras aguas de calderas están correctamente tratadas y no hay peligro de fragilización cáustica.

2o. ejemplo:

$$\begin{aligned} SO_4 &= 11.23 \text{ g.p.g. (como } Na_2SO_4) \\ H &= 0.1 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \\ M &= 31.54 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \\ P &= 25.11 \text{ g.p.g. (como } CaCO_3) \end{aligned}$$

$$\text{Luego, } M - H = 31.54 - 0.1 = 31.44 \text{ g.p.g. NaOH} + Na_2CO_3 \text{ (como } CaCO_3) = \text{Alcalinidad del sodio (NaA)}$$

$$(M - H) - (2P - M) = 31.54 - (50.22 - 31.54) = 12.76 \text{ g.p.g. Na}_2\text{CO}_3 \text{ (como CaCO}_3\text{)}$$

$$2P - M = 50.22 - 31.54 = 18.68 \text{ g.p.g. NaOH (como CaCO}_3\text{)}$$

Y sacando sus equivalentes respectivos, tendremos:

$$12.76 \times 1.06 = 13.53 \text{ g.p.g. Na}_2\text{CO}_3 \text{ real.}$$

$$18.68 \times 0.8 = 14.94 \text{ g.p.g. NaOH real.}$$

$$\text{Relación a) } \frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{NaOH}} = \frac{11.23}{14.94} = 0.75$$

$$\text{Relación b) } \frac{\text{Na}_2\text{CO}_3}{\text{NaOH}} = \frac{13.53}{14.94} = 0.90$$

Llevando ambos valores a nuestra gráfica, determinamos el punto respectivo, y vemos que éste cae dentro de la Zona de Peligro. El agua de calderas está peligrosamente alcalina y es capaz de provocar la fragilización cáustica de las placas metálicas de las calderas. Como el agua cocida tiene una proporción SULFATOS/ALCALINIDAD TOTAL menor de 2, deberemos adicionar sulfato de sodio al agua de calderas para restablecer el valor de la relación, aumentando el ion SO_4 (inhibidor de la fragilización). Para ello, empleamos la fórmula siguiente:

$$\frac{3 \text{ NaOH} - (\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4)}{6.7} = \text{libras Na}_2\text{SO}_4 \text{ por 1000 galones (U.S.)}$$

En esta fórmula se consideran como inhibidores al Na_2SO_4 y al Na_2CO_3 .

Los valores Na_2CO_3 y NaOH se consideran reales y no expresados en CaCO_3 .

No es aconsejable el uso de la soda ash como inhibidor debido a que su hidrólisis produce sosa cáustica que aumentaría la fragilización. Si NO consideramos como inhibidor al carbonato sódico, entonces se usa esta otra fórmula:

$$\frac{3(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}) - \text{Na}_2\text{SO}_4}{6.7} = \text{libras Na}_2\text{SO}_4 \text{ por 1000 galones (U.S.)}$$

que aplicada al agua cocida del 2o. ejemplo, nos daría:

$$\frac{3(13.53 + 14.94) - 11.23}{6.7} = 1.1 \text{ libras } \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ por } 1000 \text{ galones. (U.S.)}$$

Como se conoce el volumen total de agua en la caldera, por una proporción sencilla sabremos el peso de sal de Glauber que hay que agregar.

Cuando se usan los fosfatos para prevenir contra la fragilización deben analizarse las aguas cocidas para determinar su contenido de fosfatos y poder mantener un cierto exceso de éstos, que para plantas que operan a presiones moderadas será de 2.3 g.p.g. = 40 p.p.m. de fosfatos solubles.

Entre las desventajas que pueden señalarse al tratamiento inhibidor de la fragilización cáustica pueden citarse las siguientes: En aguas que originalmente tienen un bajo contenido de sulfatos (como las del Manantial de Chihuahuita que sirve para la alimentación de las 4 calderas de la Refinería del Ingenio), pueden requerir grandes cantidades de sulfato sódico para obtener la proporción adecuada SULFATOS/ALCALINIDAD TOTAL, lo que aumenta considerablemente el contenido de sólidos disueltos que originarán el espumaje y en algunos casos formarán incrustación. Si se usa ácido para corregir el exceso de NaOH es posible causar corrosión del metal. Pueden evitarse estos inconvenientes por medio de un control adecuado de las aguas de calderas realizado por personal competente.

CAPITULO VI

"DUREZA DEL AGUA".—SISTEMAS EMPLEADOS PARA "SUAVI- ZARLA".—TRATAMIENTO EXTERNO

Las sales de metales alcalinotérreos: calcio, magnesio, bario, etc., ya sean de ácidos fuertes (sulfatos, cloruros, nitratos, etc.), o de ácidos débiles (bicarbonatos) producen la llamada "dureza" del agua cuando se encuentran presentes en ella. Se reconoce un agua dura en que tratada con una solución clara de jabón da enturbiamiento e incluso precipitado, gastándose gran cantidad de jabón para producir, agitando, una espuma permanente. El método más común para separar o volver inofensivas a estas substancias formadoras de incrustaciones consiste en agregar al agua ciertos productos químicos que al reaccionar con la dureza del líquido o con los sólidos incrustantes los cambian de fase, pasándolos a precipitados. Este tratamiento puede efectuarse dentro o fuera de la caldera, recibiendo los nombres de "TRATAMIENTO EXTERNO" cuando el agua es tratada en equipo adecuado fuera de la caldera, de tal manera que los sólidos incrustantes son eliminados antes de que el agua entre en la caldera; en el "TRATAMIENTO INTERNO" las substancias químicas empleadas para el objeto se agregan al agua directamente dentro de la caldera, donde reaccionan con la dureza del agua, evitando la formación de incrustaciones, pero produciendo grandes cantidades de lodos o sedimento que se expulsa por purgas intermitentes o continuas. Por esta razón, este tratamiento no es considerado tan satisfactorio como el método externo. Existen también combinaciones de ambos métodos.

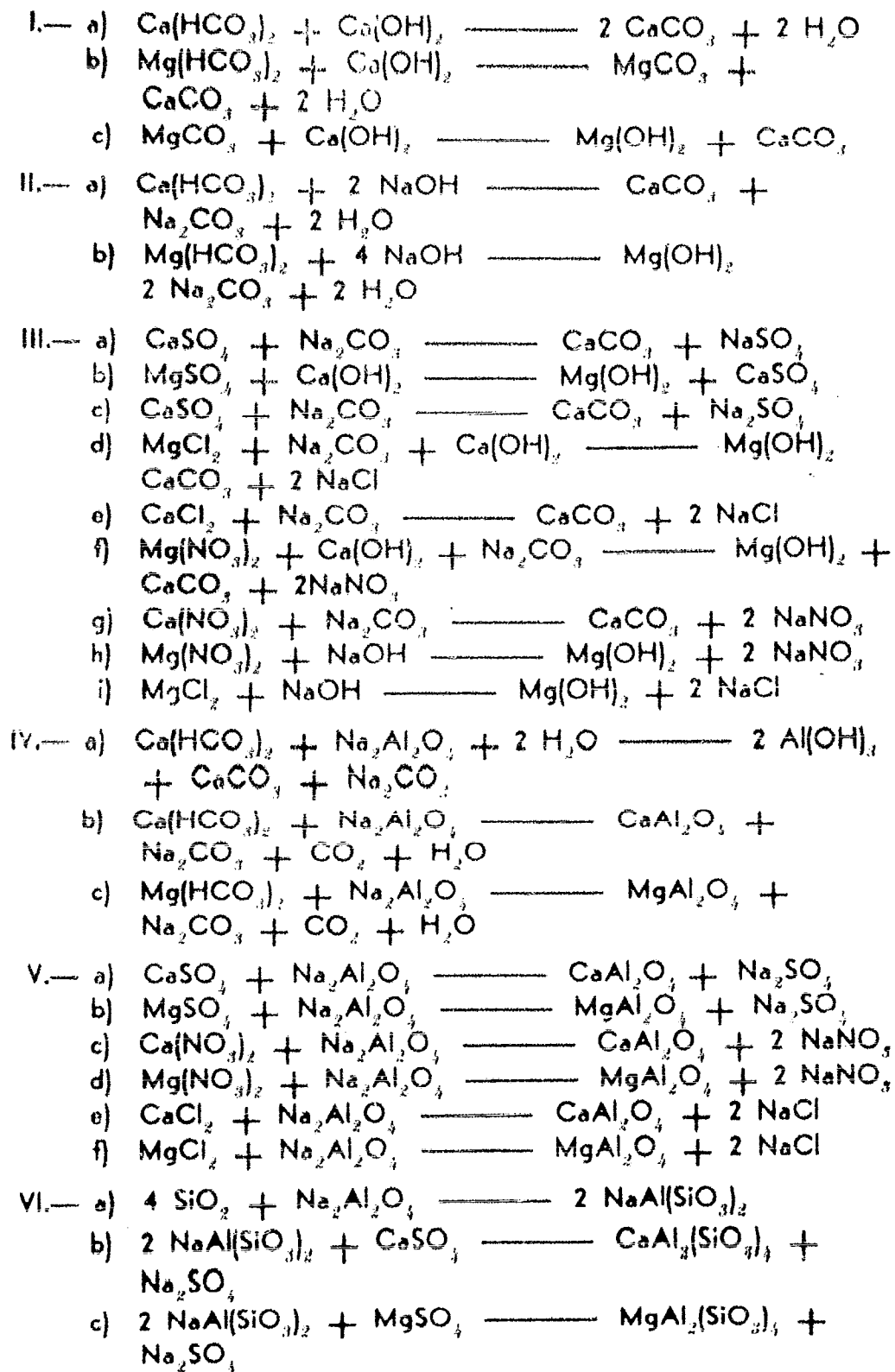
Aplicándose en el Ingenio "Emiliano Zapata" el tratamiento interno, únicamente se hará una descripción breve del tratamiento externo.

El TRATAMIENTO EXTERNO puede subdividirse en dos métodos:
1o.—Método de precipitación externa o de cal-carbonato de sodio; y
2o.—Método de intercambio de base o Zeolita.

Ambos procedimientos proporcionan un control más perfecto del agua de calderas que el Tratamiento Interno. Son más costosos y requieren atención constante de personal experimentado, en tanto que el interno es el más económico y de control más sencillo, y que bien aplicado puede dar resultados CASI tan eficientes como los primeros.

El tratamiento externo del agua de alimentación de calderas elimina las durezas temporal y permanente, neutraliza cualquier acidez y remueve los precipitados formados durante el proceso de ablandamiento, antes que las aguas entren a las calderas, reduciendo así la cantidad de agua que deba ser "purgada" para mantener una concentración adecuada de sólidos disueltos que no produzca formación de espuma, "golpes de agua" ni otros efectos nocivos. El método de precipitación externa puede ser a caliente o a frío, intermitente o continuo. Los reactivos usados principalmente, son: Soda ash, sosa cáustica o cal y un coagulante, que puede ser preferentemente el aluminato de sodio, $(\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4)$ líquido, de una riqueza de 32%; o bien el sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$; el alumbre ordinario o sulfato doble de aluminio y potasio, $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$; sulfato ferroso, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$; el sulfato de cobre, $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$; el alumbre de amonio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$; el cloruro férrico, FeCl_3 ; etc. Puede también usarse el carbonato de bario, BaCO_3 como reactivo de precipitación en vez de la soda ash.

En este sistema la soda ash elimina la dureza permanente; la cal o la sosa cáustica eliminan la dureza temporal y el coagulante forma un precipitado esponjoso o flóculos que aseguran la clarificación eficiente y rápida de las sales insolubles o lodos, precipitados por las reacciones químicas del tratamiento:



El equipo requerido para el método de precipitación externa consiste en un tanque o una serie de tanques con capacidad suficiente para permitir que el agua permanezca en depósito de tres a cinco horas, mientras se llevan a cabo las reacciones químicas de las sales que forman la dureza del agua con los reactivos agregados para suavizarla, y se asienta el sedimento formado. Consta además de filtros o pantallas que sirven para retener toda partícula sólida que lleve el agua en suspensión, de manera que únicamente ingresará a la alimentación el agua tratada (que lleva sólidos disueltos) y filtrada.

En el método intermitente, el agua es tratada con las sustancias químicas; se agita para obtener una buena mezcla y luego se la deja asentar hasta que queda lista para usarse. Mientras se usa el agua de uno de los tanques, otro tanque está siendo tratado y dejándose asentar para que esté listo para cuando el primero se haya vaciado.

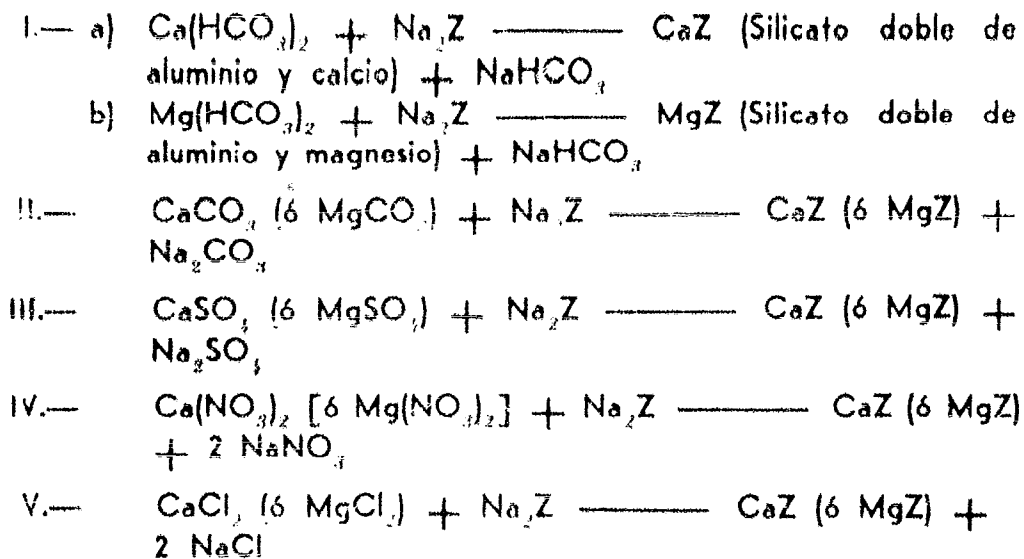
En el método continuo generalmente se emplea un tubo colocado en el interior del tanque por donde se hace circular continuamente el agua; los reactivos químicos se agregan allí mismo, mezclándose completamente con el agua y suavizándola. De aquí pasa al tanque, subiendo gradualmente de nivel en tanto que el sedimento se va depositando.

EL METODO ZEOLITA o DE INTERCAMBIO DE BASE se funda en el hecho de que ciertas sustancias, naturales o artificiales, compuestas principalmente de sodio, aluminio y silicio combinados, tienen la propiedad característica de permutar (de donde deriva su nombre de "permutitas") o intercambiar bases con las sales formadoras de la dureza de un agua, transformándolas en sales sódicas, no-formadoras de incrustación. Las permutitas se combinan pues, con los cationes calcio y magnesio del agua y liberan iones sodio en cantidad equivalente, que substituyen a los elementos citados, en sus combinaciones.

Se ha reservado el nombre de "permutitas" a los compuestos naturales que gozan de esta propiedad, llamados mineralógicamente "glauconita" y "bentonita", que son silicatos bimetalicos hidratados, de fórmulas: $\text{Na}_7\text{OAl}_2\text{O}_5\text{S}_2\text{O}_2$ y $\text{Na}_3\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{14} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Las zeolitas son las permutitas artificiales o sintéticas y poseen un poder de suavización mayor que las naturales. Las zeolitas son regenerables: cuando se ha agotado su capacidad de ablandamiento basta sumergirlas cierto tiempo en una lejía de cloruro de sodio al 8 ó 10% para que recuperen sus propiedades primitivas.

Las reacciones que tienen lugar en este proceso, son: (Representamos la fórmula de la zeolita por Na_xZ :



El proceso suavizador con las zeolitas se verifica de izquierda a derecha y el proceso de regeneración se realiza de derecha a izquierda.

Para efectuar este tratamiento, las zeolitas (de las que hay varias clases) se colocan en tanques que son una especie de filtros (aunque fundamentalmente distintos), y se hace pasar el agua, a determinada presión, a través de las capas de zeolita. Como éstas obran por superficie, se requiere cierto tiempo para que toda el agua se ponga en contacto íntimo con los granos del compuesto, aunque el intercambio de radicales es instantáneo. El agua por suavizar penetra por la parte inferior del aparato y sale por la superior ya ablandada. Para la regeneración se invierte el proceso, haciendo circular la solución de NaCl de arriba a abajo y por determinado tiempo.

Presenta este método serios inconvenientes que lo hacen poco aconsejable para un tratamiento externo, requiriendo un control adecuado tanto del aparato como del agua tratada. Se completa este tratamiento por medio del empleo de coagulantes y de filtros ordinarios. Para aguas con un elevado porcentaje de sulfatos (aguas sulfatadas) es aconsejable el Sistema Zeolita.

CAPITULO VII

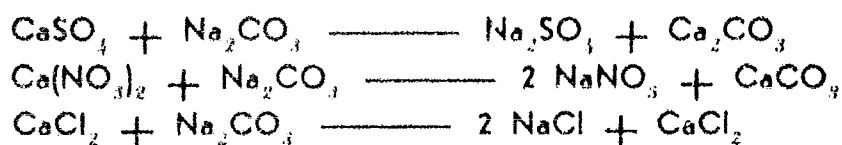
TRATAMIENTO INTERNO.—SISTEMA DE "ABLANDAMIENTO" EMPLEADO EN EL INGENIO "EMILIANO ZAPATA".—TIPOS DE DESINCRUSTANTES PATENTADOS EMPLEADOS EN LA ZAFRA 1944-1945 Y RESULTADOS COMPARATIVOS OBTENIDOS

Ya se indicó que es el Tratamiento Interno el único que se aplica en el Ingenio. A pesar del modernísimo equipo con que cuenta el Ingenio, el control químico de sus aguas de calderas ha sido muy deficiente entre otras razones por una mal entendida economía no obstante el complejo problema que representa el tratamiento de esas aguas. Se han empleado en zafras anteriores varios desincrustantes patentados con resultados algunas veces lamentables.

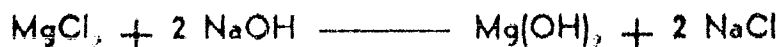
Los reactivos químicos usados en el tratamiento interno son siempre los mismos, aunque algunas veces vengan encubiertos con nombres patentados y profusa propaganda y otras, se usen como productos sueltos, con el único requisito que sean puros. Tienen la ventaja de ser estos últimos, de precio más bajo y presentarse generalmente en estado sólido. Los más usados son: el carbonato de sodio, soda ash o sosa Solvay; fosfato de sodio, aluminato de sodio, sosa cáustica y substancias orgánicas que actúan como verdaderos floculantes de las partículas formadas por los cuerpos anteriores al reaccionar con la dureza del agua. Se han usado también el almidón, patatas, serrín, grafito, limones, troncos y cortezas de árboles, alumbre ordinario, sales de bario, aceites minerales y un sin fin de materias orgánicas y substancias químicas, que estableciendo ligeras diferencias sobre los desincrustantes existentes origina una nueva patente con el recargo natural en el precio.

En el Capítulo V al tratar lo referente a las causas de la incrustación se indicó la existencia de dos clases de dureza en las aguas natu-

rales: la dureza temporal y la dureza permanente. La primera es originada por los bicarbonatos de calcio y de magnesio, mucho más solubles que los carbonatos respectivos. Este tipo de dureza se elimina por simple calentamiento, descomponiéndose los bicarbonatos para formar los carbonatos que se precipitan como lodos y produciendo CO_2 . La dureza permanente, formada principalmente por carbonatos, sulfatos, nitratos y cloruros de calcio y de magnesio, es eliminada por reactivos químicos que al reaccionar con la dureza, precipitan al calcio o al magnesio como lodos o en forma pulverulenta no incrustante. Así por ejemplo, la soda ash reacciona con la dureza cálcica precipitando el carbonato de calcio amorfo:



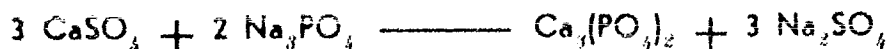
La misma soda ash, a las elevadas temperaturas de la caldera se hidroliza dando soda cáustica que reacciona con las sales de magnesio formándose hidróxido de magnesio insoluble que se precipita como lodos:



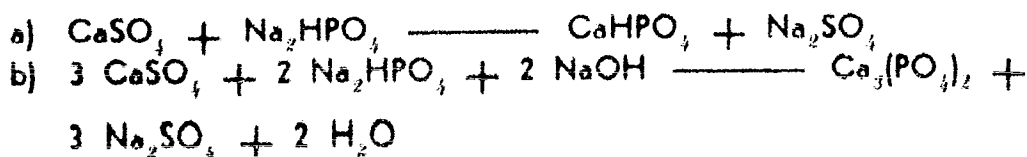
La acción directa de la soda cáustica se usa para aguas con elevado porcentaje de dureza magnésica así como también es de gran utilidad para aguas excesivamente corrosivas, debido al CO_2 disuelto, aunque en este caso es preferible un sistema de eliminación de gases en el agua de alimentación.

El fosfato de sodio en sus diferentes formas: mono-, di-, tri- y metafosfato de sodio (NaH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , Na_3PO_4 y NaPO_3), reacciona con el calcio dando un sedimento no-incrustante:

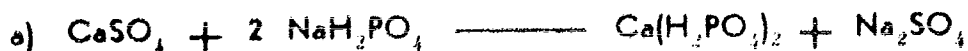
1o.—Fosfato trisódico.

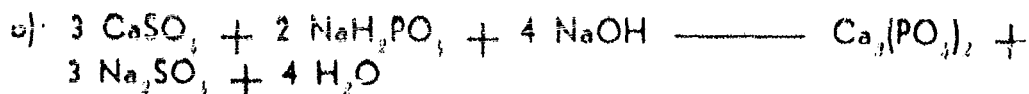


2o.—Fosfato disódico.

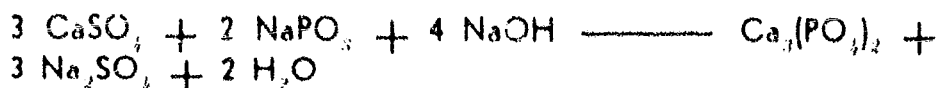


3o.—Fosfato monosódico.

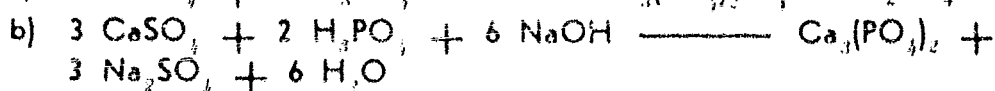




4o.—Metafosfato de sodio.

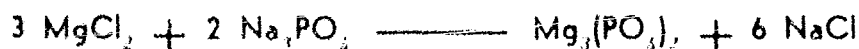


5o.—Acido fosfórico.

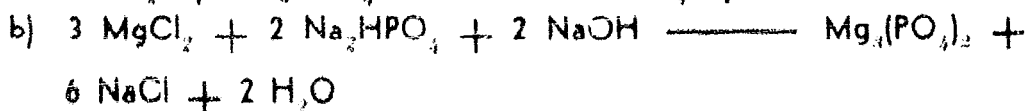
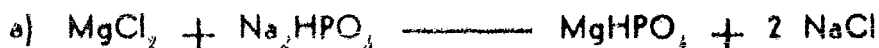


Las sales de magnesio también reaccionan con el fosfato de sodio precipitándose el fosfato de magnesio insoluble:

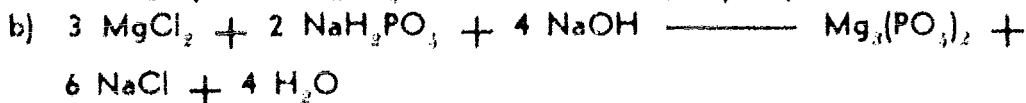
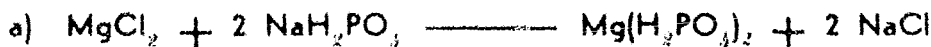
1o.—Fosfato trisódico.



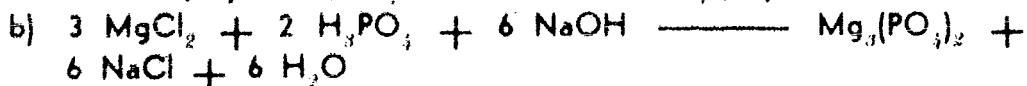
2o.—Fosfato disódico.



3o.—Fosfato monosódico.



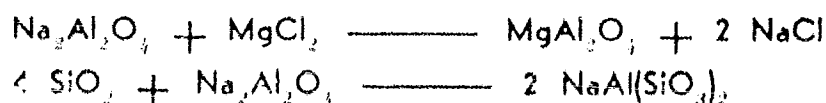
4o.—Acido fosfórico.



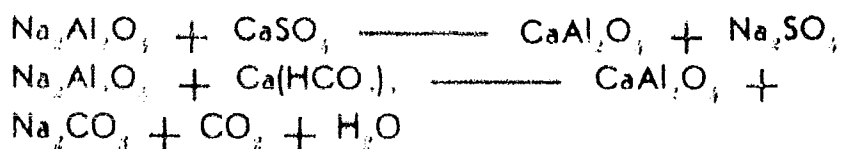
El silicato de sodio es muy utilizado tomando en cuenta su valor alcalino. Algunas teorías aprueban su empleo basadas en que el anión silicato del silicato de sodio forma una capa protectora sobre el metal de la caldera que evita que se adhiera la incrustación. Aunque esta acción no se ha comprobado debidamente, es útil en calderas que trabajan a presión baja siendo por lo contrario perjudicial en equipos que trabajan a altas presiones, donde origina una incrustación silicosa.

Las materias orgánicas usadas en el tratamiento interno son principalmente de composición fécula o aquellas provenientes de algas. Más que como reactivos químicos intervienen como coagulantes, por aglomerar a las partículas formadas en las reacciones químicas provocadas por los otros reactivos del tratamiento, en flóculos o grumos cuyo tamaño los hace sedimentar con facilidad sin que se adhieran al metal de la caldera. No modifican tampoco a la dureza en grado suficiente para precipitarla, poseyendo algunas materias orgánicas importantes propiedades anticorrosivas.

El aluminato de sodio es el único coagulante comúnmente empleado para el tratamiento interno y para aguas de poca dureza o de dureza sulfatada. Al agregarse al agua de alimentación mezclado con los otros reactivos, reacciona con el magnesio y con la sílice formando un precipitado esponjoso que absorbe las finas partículas resultantes de las otras reacciones de ablandamiento:



Siendo una sal de sodio, el aluminato ayuda a suavizar la dureza:



Entre los inconvenientes que puedan achacársele al tratamiento interno pueden citarse las fuertes pérdidas de calor, súbitos descensos en la presión de trabajo, etc., debidos a las "purgas", cuando se usa este procedimiento (como en el Ingenio "Emiliano Zapata") para la expulsión de la gran cantidad de sedimento o lodos resultantes de las reacciones verificadas en el interior de las calderas entre la dureza del agua y los reactivos de precipitación y de coagulación empleados para eliminarla. Este inconveniente puede subsanarse por medio de un dispositivo para el sifoneado continuo de los lodos.

Existen fórmulas para calcular, en el tratamiento interno, la cantidad en peso del reactivo químico (W) requerido por cada 1000 galones del agua de alimentación. Así por ejemplo, si en vez de emplear un desincrustante patentado se usasen reactivos comerciales, podríamos iniciar un tratamiento a base de soda ash, fosfato de sodio y aluminato de sodio, que se basaría en los resultados de los reportes analíticos obtenidos con anterioridad, que proporcionasen la dureza total (H), la

dureza debida a las sales de calcio o Ghost Point (G.P.), la alcalinidad a la fenolftaleína (P) y la acidez total (M), cuando se tratase de aguas con un pH neutro o alcalino; o de acidez total (A) cuando las aguas fuesen de un pH ácido.

ABLANDAMIENTO COMPLETO CON SODA ASH

Aguas Neutras o Alcalinas.
(Amarillas al naranjado de metilo.)

$$W = \frac{H - M + 2}{6.5}$$

Aguas Acidas.
(Rojas al naranjado de metilo.)

$$W = \frac{H + A + 2}{6.5}$$

Como se requiere un exceso de reactivo sobre la dosificación calculada, generalmente de 1 a 3 granos por galón (U.S.) o de 0.14 a 0.42 libras por 1000 galones, la cifra 2 de las fórmulas anteriores se ha tomado arbitrariamente como el exceso requerido, que puede ser modificado de acuerdo con los resultados conseguidos o de la dureza inicial del agua. Por ejemplo:

$$H = 10 \quad M = 4$$

$$\text{Luego, } W = \frac{10 - 4 + 2}{6.5} = 1.23 \text{ lbs.}$$

$$H = 10 \quad A = 2$$

$$\text{Luego, } W = \frac{10 + 2 + 2}{6.5} = 2.16 \text{ lbs.}$$

REMOCION COMPLETA DE LA DUREZA DE SULFATOS CON FOSFATOS

Este método se usa también como tratamiento secundario después de la cal o de la sosa cáustica usados externamente para la remoción de la dureza temporal.

Aguas Alcalinas.

Aguas Acidas.

1o.—Con fosfato disódico cristalizado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$):

$$W = \frac{H - M}{1.9}$$

$$W = \frac{H + A}{1.9}$$

Si se dispone de fosfato disódico anhidro (Na_2HPO_4), multiplíquese el peso W arriba determinado por 0.408, que nos dará la cantidad en peso de la forma anhidra.

2o.—Con fosfato trisódico cristalizado ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$):

$$W = \frac{H - M}{2.8}$$

$$W = \frac{H + A}{2.8}$$

El aluminato de sodio líquido, con una riqueza no menor de un 32% se usa únicamente en el tratamiento interno como coagulante y para mantener en el agua de caldera un exceso adecuado de alúmina sobre la sílice que prevenga la formación de la incrustación silicosa. Posee además un valor alcalino equivalente a 1/3 de su peso en soda ash. Para dosificarlo se emplea la fórmula:

Aluminato de sodio líquido, conteniendo 32% $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$,

$$W = 0.05 \left(H - M + \frac{M}{5} \right)$$

Del resultado obtenido, supongamos 0.5 lbs. de aluminato por cada 1000 galones del agua de alimentación, se divide entre 3 por la razón antes citada: $0.5/3 = 0.166$ lbs. que se restarán del peso de soda ash calculado para el ablandamiento.

La soda cáustica no es aconsejable emplearla sola para un tratamiento completo por el peligro que existiría, caso de estar ausente un inhibidor (como el Na_2SO_4), de que al alcanzar concentraciones de 30% o más en alguna parte de la caldera originase una fragilización quebradiza (embrittlement) de las placas metálicas. Usase a veces como un tratamiento suplementario de la soda ash y del aluminato sódico.

La adición de los reactivos químicos para "suavizar" la dureza de las aguas de calderas es aconsejable hacerlo a intervalos en vez de una manera continua a efecto de evitar la incrustación de bicarbonatos en las líneas de alimentación.

GRADUACION DEL TRATAMIENTO INTERIO EMPLEADA EN EL INGENIO

En la zafra 1944-1945, iniciada a las 6.30 horas del 22 de diciembre de 1944, se emplearon dos desincrustantes patentados para el "ablandamiento" de sus aguas de caldera; el primero, marca "RENAULT", se usó con poco éxito desde el principio de la zafra hasta el 10 de enero de 1945 y el segundo, marca "NALCO", usóse desde el 11 de enero hasta la terminación de la zafra, con mejores resultados que el anterior.

La mayoría de los compuestos patentados usados para calderas no tienen ningún método especial para controlarlos, sino que la cantidad de reactivo que debe de usarse se calcula de acuerdo con la potencia de las calderas y la cantidad de agua consumida diariamente. Como métodos de control aplicados en el Ingenio en esa zafra, se citarán los tratamientos suplementarios al principal, y que consistieron en el cálculo de soda ash y adición de antiespumante de acuerdo con los resultados analíticos obtenidos de las aguas cocidas. Además, se completó el tratamiento de las aguas de las calderas de la Refinería y por pocos días, con la adición de fosfato "AMEROID" y de un compuesto coagulante y anti-incrustante mal llamado "coloide". Por lo que respecta a la caldera de la Fábrica de Alcohol se estuvo aplicando a sus aguas (sulfatadas y sílicas) un tratamiento mixto compuesto de desincrustante "NALCO", fosfato "AMEROID", soda ash y coloide para corregir las irregularidades observadas durante su funcionamiento pero conservando el desincrustante "NALCO" el tratamiento principal o de fondo.

Del análisis número 3 de las aguas de alimentación (que son una mezcla de 70% de agua de condensados con 30% de agua cruda, aproximadamente), los expertos de "Aluminatos de México, S. A." hicieron el estudio y calcularon el tratamiento necesario para las aguas de las calderas de la Fábrica de Azúcar, y del Análisis número 2 determinaron el tratamiento de las aguas del Pozo Nuevo, usadas por la Fábrica de Alcohol.

Recomendaron para la Refinería la aplicación de la fórmula "NALCO" No. 47, a razón de 0.25 libras por cada 1000 galones (o sean 120 gramos por metro cúbico de agua.)

Para la Fábrica de Alcohol recomendaron un ligero aumento de la dosificación del tratamiento aplicado en la Fábrica de Azúcar, o en todo caso combinar la fórmula No. 47, con alguna otra más enérgica que se adicionaría en pequeñas dosis: la ABB a razón de 3.3 libras por cada 1000 galones.

Recordemos que el agua del Manantial de Chihuahuita empleada para la alimentación de las calderas de la Refinería es del tipo bicarbonatado ligeramente silíceo. El agua del Pozo Nuevo que alimenta a la caldera de la Fábrica de Alcohol es del tipo sulfatado ligeramente silíceo.

Se complementaron ambos tratamientos con la adición de carbonato de sodio o soda ash, en determinadas proporciones calculadas por medio de fórmulas basadas en los reportes analíticos diarios. Posteriormente, debido a irregularidades que más adelante se tratarán, se modificaron los dos tratamientos aplicados, en la siguiente forma:

FÁBRICA DE AZUCAR

La dosificación del Desincrustante "Nalco" No. 47, originalmente de 65 bolas con un peso de 1 libra cada una, para 24 horas de tratamiento, por ser insuficiente para mejorar la calidad de las aguas de calderas, se aumentó progresivamente a 100, 120 y hasta 140 libras en cada 24 horas. Por descuido de alguno de los obreros de la Refinería se dejó abierta una válvula que comunicaba el Tanque de Agua Dulce con el Tanque de Condensación de 3 libras que ocasionó la contaminación de las aguas de condensados que mezcladas con agua cruda sirven para la alimentación de las calderas. Esta contaminación que duró varios días hasta que fué localizada y corregida ocasionó aguas con sacarosa, de reacción muy ácida, muy oscuras, turbias, muy espumosas, de elevadas durezas (falsas durezas) y con gran cantidad de sólidos en suspensión, haciendo irreportables los conceptos P (Alcalinidades a la fenolftaleína), M (Alcalinidades Totales o Alcalinidades al Naranja de metilo) y Cl (Cloruros Totales).

Se usó por consiguiente el llamado Pulverizado No. 7 "NALCO" contra la fermentación de las aguas (antiespumante), aumentándose la dosis de la fórmula No. 47 y colando al drenaje las aguas contaminadas hacia la vuelta a la normalidad de las aguas de calderas.

Con fecha 5 de febrero de 1945 y hasta el día 7 del mismo mes, se modificó el tratamiento fundamental adicionándosele fosfato de sodio y coloide (éste compuesto en forma líquida), que mejoraron gradualmente la calidad de las aguas. El día 8 del mismo mes se volvió a modificar el tratamiento principal agregándosele la fórmula "NALCO" No. 8, que viene en bolas de 400 gramos cada una y calculadas de acuerdo con la potencia de las calderas y con su consumo de agua, en la forma siguiente:

Promedio del agua de alimentación de calderas de la Fábrica de Azúcar, del día 6 al 22 de febrero de 1945: 18119.40 Toneladas/24 horas.

DOSIS DE LA BOLA No. 8

Cálculos hechos sobre 2,000,000 kilogramos de agua en 24 horas. Luego,

$$\frac{2,000,000 \times 0.1 \times 0.453}{3.785 \times 1000 \times 0.400} = 59.80 \text{ o sean aproximadamente } 60 \text{ Bolas de "NALCO" No. 8 en 24 horas.}$$

Estas Bolas No. 8 juntamente con las No. 47 y la soda ash calculada se rompen con un martillo para facilitar su disolución y se disuelven con ayuda de vapor en el Tanque Inferior de Aprovisionamiento. Una vez disueltas se bombea la solución al Tanque Elevado, se completa el volumen a 30,000 litros y bien homogeneizado el conjunto se hace entrar a la circulación uniformemente por medio de una válvula graduada situada junto a la bomba de alimentación, calculando que la carga del desincrustante dure las 24 horas del tratamiento, abriendo o cerrando la válvula de entrada.

FABRICA DE ALCOHOL

Cálculo del consumo de agua hecho sobre la potencia de 376 H. P.

$$\frac{376 \times 34.5 \times 24}{8.34} = 37329.49 \text{ galones (U. S.) / 24 horas.}$$

DOSIS DE LA BOLA No. 47

$37.329 \times 0.2 = 7.4659$ o sean aproximadamente 8 Bolas de "NALCO" No. 47 en 24 horas.

Bola No. 8 Factor: 0.1/1000 galones (U.S.)

Bola No. 47 Factor: 0.2/1000 galones (U.S.)

CALCULO DE LA SODA ASH (De 98.5% de pureza.)

Son necesarios los reportes analíticos de los conceptos siguientes:

H = Dureza Total.

M = Alcalinidad Total.

S. D. = Sólidos Disueltos.

Si $H > M$

$$\text{Luego: } \frac{(H - M) + 0.25 (S.D. - M)}{6.5} = \text{libras/1000 galones (U.S.)}$$

Si $H < M$

Luego,

$$\frac{0.25 (S.D. - H) - (M - H)}{6.5} = \text{libras/1000 galones (U.S.)}$$

siempre que: $\frac{M - H}{S.D. - H} \times 100 < 20\%$

Si $\frac{M - H}{S.D. - H}$ es igual o mayor de 25% no se pone soda ash.

Por lo que toca al Desincrustante "RENAULT" presentado en forma líquida, se usó desde el principio de la zafra hasta el 10 de enero de 1945 en que fué substituído por el "NALCO". No modificó apreciablemente las durezas, que permanecieron elevadas en tanto que las

alcalinidades M y P permanecieron bajas. Otro de los inconvenientes que pueden achacársele fué la coloración rojiza que presentaron con frecuencia las aguas cocidas tratadas con dicho desincrustante, defecto que en ocasiones hizo imposible de llevar a cabo los análisis de rutina. Además, por su fuerte alcalinidad (contiene sosa cáustica en elevada proporción) puede dar lugar a la fragilización cáustica de las paredes metálicas de las calderas. Por estas razones es poco aconsejable la aplicación de este desincrustante para el tratamiento interno de las aguas de calderas.

Véanse al final de este trabajo las GRAFICAS con los resultados comparativos obtenidos con el uso sucesivo de los Desincrustantes "RENAULT" y "NALCO". En dichas gráficas de los promedios de reportes analíticos diarios de la Casa de Calderas puede seguirse, día por día, el comportamiento de las aguas cocidas con estos suavizadores. En el Capítulo XII se encontrarán los promedios diarios y finales de los reportes de la Casa de Calderas para juzgar, comparando los datos numéricos, la eficacia de ambos tratamientos.

Con el Desincrustante "NALCO" las durezas bajaron a cero o cerca de cero, cosa no conseguida nunca con el "RENAULT". A mayor abundamiento, en el lapso comprendido del 11 de enero al 28 de febrero de 1945, ocurrieron las peores contaminaciones de las aguas de calderas por infiltraciones de azúcar y no obstante esto, al examinar los Promedios Finales se observará que las alcalinidades M y P de las aguas cocidas tratadas con el "NALCO" son superiores a las tratadas con el "RENAULT" y que algunas de ellas en los Reportes Diarios así como en los Promedios Diarios son muy elevadas, con pH altos y durezas totales muy bajas.

Estos resultados abonan el tratamiento de las aguas con el Desincrustante patentado "NALCO".

CAPITULO VIII

CONTROL QUIMICO:

- a) PREPARACION DE LOS REACTIVOS.
- b) MANERA DE REALIZAR LOS ANALISIS PRINCIPALES (DE RUTINA.)

En el Ingenio "Emiliano Zapata", los análisis diarios o de rutina a que se sometían sus aguas de calderas, al menos hasta la zafra 1944-1945 eran los siguientes: concentración del ion hidrógeno o pH, dureza total, alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, cloruros, sólidos disueltos y sólidos totales. A estas determinaciones puede agregarse la investigación diaria de sacarosa en las aguas de condensación, aguas de alimentación, etc.

No obstante ser necesarios para completar los reportes analíticos, no se analizaban los sulfatos y fosfatos. Sin embargo, en la zafra 1945-1946 el Ingenio adquirió un fototester o fotoelectrocolorímetro así como un Nalcómetro (Turbidímetro) con los cuales está realizando dichas determinaciones y aun otras, como la sílice o arena. Tampoco se analizaron las aguas ácidas al tornasol sino sólo las neutras o alcalinas.

a).—PREPARACION DE LOS REACTIVOS

Los reactivos necesarios para las determinaciones usuales, son: pH.—Este se determina bien sea por medio del potenciómetro (Aparato destinado a medir la concentración del ion hidrógeno por el método electrométrico, que da las determinaciones más exactas. El Ingenio posee un potenciómetro marca "COLEMAN" para conocer los pH de jugos, mieles, aguas cocidas de calderas, etc.); de papeles reactivo

impregnados de ciertas substancias sensibles que al contacto de un líquido ácido, alcalino o neutro da diferentes coloraciones que son comparadas con una escala colorimétrica de pH conocidos, como los de la marca Merck, el pHydron Paper, etc. También puede determinarse colorimétricamente por medio de aparatos comparadores basados en el hecho de que algunos indicadores poseen un intervalo de transición, en el cual el color varía con los cambios del pH. La prueba se efectúa agregando cierta cantidad de la solución de indicador a la solución o líquido por examinar, con lo que se produce una coloración que se compara con una serie de mezclas buffer de pH conocido y con la misma cantidad de indicador en un aparato comparador apropiado. Tales son los aparatos de la marca "LA MOTTE" usados en el Ingenio: el Rojo fenol "La Motte" da lecturas de pH de 6.8 a 8.4 y el Azul de Bromotimol "La Motte" que da lecturas de pH entre 6.0 y 7.6. A continuación, se citan otros

"INDICADORES PARA VALORES DE LA CONCENTRACION
DEL ION HIDROGENO"

INDICADOR	Escala del pH.	Cambio de Coloración
Metacresol púrpura	1.2 a 2.8	. . . . rojo-amarillo.
Azul de bromofenol	3.0 a 4.6	. . . . amarillo-azul.
Verde de bromocresol	4.0 a 5.6	. . . . amarillo-azul.
Rojo clorofenol	5.2 a 6.8	. . . . amarillo-rojo.
Azul de bromotimol	6.0 a 7.6	. . . . amarillo-azul.
Rojo fenol	6.8 a 8.4	. . . . amarillo-rojo.
Rojo cresol	7.2 a 8.8	. . . . amarillo-rojo.
Azul timol	8.0 a 9.6	. . . . amarillo-azul.
Amarillo nitro	10.0 a 11.6	. . . . amarillo-naranja.
Sulfo naranja	11.0 a 12.6	. . . . amarillo-naranja.

DUREZA = H (Hardness).—Los reactivos empleados para determinarla con una SOLUCION STANDARD DE JABON y una SOLUCION STANDARD DE CaCl_2 .

1o.—SOLUCION STANDARD DE CaCl_2 .—Se disuelve 1 gramo de CaCO_3 q.p. (químicamente puro) en un poco de ácido clorhídrico (HCl) q.p. teniendo cuidado de evitar pérdidas de sal por la eferves-

cencia o salpicaduras. Se evapora a sequedad varias veces agregando agua destilada para desalojar el exceso de ácido y se completa el volumen a un litro con agua destilada. Cada cc. de esta solución equivale a 1 mg. de CaCO_3 .

2o.—SOLUCION STANDARD DE JABON.—Disolver 100 g. de Jabón de Castilla pulverizado puro en un litro de alcohol de 80% y se deja varios días en reposo. Para valoración se toman 300 cc. de solución stock, se diluye con 1350 cc. de alcohol de 70 a 80% y con 1650 cc. de agua destilada.

Se diluyen exactamente 10 cc. de la solución de CaCl_2 en un frasco de paredes planas (sección rectangular) de 250 cc., con agua destilada recientemente hervida y enfriada a un volumen de 58.3 cc. Con una bureta se agrega la solución de jabón, de 0.2 a 0.3 cc. cada vez, agitando enérgicamente después de cada adición hasta obtener una espuma permanente (que dure no menos de 5 minutos) estando la botella horizontal. Se ajusta el factor de la solución de jabón con alcohol de 70%, hasta que 10.4 cc. produzcan espuma permanente al agregarse a los 10 cc. de solución de CaCl_2 diluida a 58.3 cc.

ALCALINIDAD.—Se necesitan para determinarla: Indicadores de naranjado de metilo y fenolftaleína; solución de H_2SO_4 -N/10 y solución de BaCl_2 al 10%. Los reactivos deben ser químicamente puros.

1o.) Preparación del indicador Naranjado de Metilo.—Disolver 0.2 g. de naranjado de metilo sólido en 100 cc. de agua destilada caliente; se deja enfriar y se filtra el ácido sulfónico que se separa. Este indicador presenta una variación bien marcada hacia el rojo cuando el $\text{pH} = 4.0$. Guardar en la obscuridad o en frasco de vidrio coloreado.

2o.) Preparación del indicador de Fenolftaleína.—Disolver 1 g. de fenolftaleína en 100 cc. de alcohol de 96° G.L. Este indicador vira del incoloro a una coloración débilmente rojiza cuando el $\text{pH} = 8.0$ y toma color rojo intenso cuando la solución es de un $\text{pH} = 9.0$ aproximadamente.

CLORUROS.—Se necesitan para determinarlos: indicador de cromato de potasio y solución de AgNO_3 -N/10.

Preparación del indicador de cromato de potasio.—Disolver 50.0 gramos de cromato neutro de potasio q.p. en un poco de agua destilada. Se agregan una gotas de la solución de AgNO_3 hasta producir

un ligero precipitado rojo. Después de uno o dos días se filtra y se diluye el filtrado a un litro con agua destilada.

ACIDEZ.—Se determina por medio de una solución de Na_2CO_3 -N/50 y del indicador naranjado de metilo.

SULFATOS.—Pueden determinarse por métodos físicos o métodos químicos:

MÉTODOS FÍSICOS.—Se usan turbidímetros o hidrómetros para determinar los sulfatos y esto únicamente en plantas con pocas facilidades para el control químico de sus aguas de calderas. Son métodos muy rápidos.

MÉTODOS QUÍMICOS.—Pueden ser gravimétricos o volumétricos. Los primeros casi no se usan; consisten en la precipitación de los sulfatos en medio ácido por medio de una solución de BaCl_2 , dejar asentar el precipitado formado, filtrar, lavar, calcinar y pesar, rindiendo los resultados en términos de g.p.g. de Na_2SO_4 .

El método volumétrico necesita: solución de Hidrocloruro de Ben-zidina al 2%; solución NaOH -N/7 e indicador de fenolftaleína.

Preparación del reactivo de benzidina.—Disolver 20 gramos de hidrocloruro de benzidina en un litro de agua destilada conteniendo 10 cc. de HCl q.p. y concentrado.

FOSFATOS.—Se determinan por métodos volumétricos, gravimétricos y colorimétricos. No se tratarán aquí estas determinaciones.

SILICE.—Se determina por métodos gravimétricos y colorimétricos. Más adelante se tratará de la determinación colorimétrica del SiO_2 .

OXÍGENO DISUELTO.—Se determina por métodos volumétricos y colorimétricos. El método químico más usado generalmente fué ideado por Winkler en 1888. Está basado en la oxidación del hidróxido manganeso a hidróxido mangánico en presencia de álcali, por intermedio del oxígeno disuelto en una cantidad medida de agua. El hidróxido mangánico en presencia de ácido clorhídrico agregado subsecuentemente reacciona con el yoduro de potasio liberando yodo libre. Este yodo puede ser titulado rápidamente con una solución standard de tiosulfato de sodio, y como el yodo liberado es equivalente al oxígeno disuelto, la cantidad de tiosulfato standard requerido es la medida del contenido en oxígeno disuelto.

En el Ingenio se practicó algunas veces esta determinación en el agua de alimentación, tomando la muestra directamente de la bomba alimentadora, empleando para ello el Aparato ideado por Matthews que es fácil de montar y rinde resultados satisfactorios. Por ser un análisis que únicamente se realiza por indicación del Jefe de Químicos o de la Superintendencia, no se tratará en este trabajo.

ALUMINA.—Se determina por métodos gravimétricos y colorimétricos. No se tratarán aquí estas determinaciones.

CO₂ LIBRE.—Se determina por volumetría. No se tratará en este trabajo.

HIERRO TOTAL.—Se determina por colorimetría. No se tratará tampoco.

DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES.—De una cantidad medida de la muestra del agua de calderas se extraen las grasas con un disolvente apropiado (éter etílico anhidro) en medio ligeramente ácido (Acidulado con HCl-N); se evapora el disolvente y se determinan los aceites y las grasas por el aumento de peso del recipiente que previamente se taró, refiriendo el resultado a gramos por litro.

DETERMINACION DEL CALCIO.—Se hace por volumetría o por gravimetría. No se tratarán dichas determinaciones en esta tesis.

DETERMINACION DEL MAGNESIO.—Se hace por gravimetría o por volumetría. No se tratarán tampoco por ser al igual que los análisis de oxígeno disuelto, alúmina, bióxido de carbono libre, hierro total, grasas y aceites, y calcio, determinaciones especiales que únicamente se llevan a cabo por indicación especial.

b).—MANERA DE REALIZAR LOS ANALISIS PRINCIPALES (DE RUTINA).

Ya se indicó al principio del Capítulo cuáles son los análisis de rutina que se hacían en el Ingenio en la zafra 1944-1945.

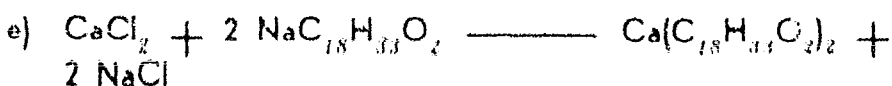
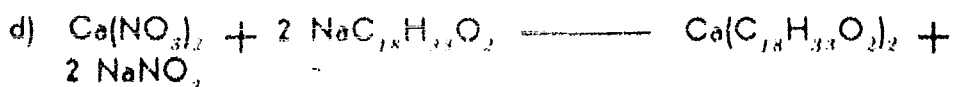
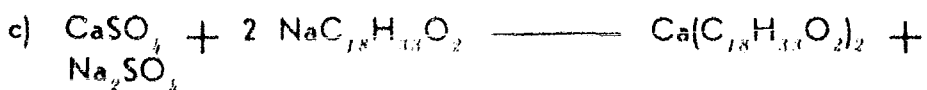
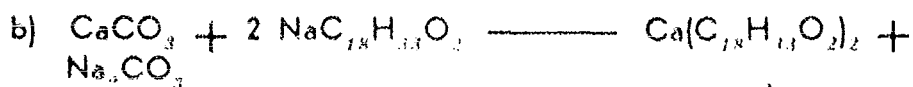
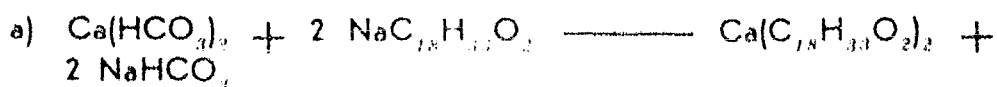
Las muestras de aguas de calderas deben enfriarse a no más de 100° F. = 37.77° C.

pH.—Se mencionó ya la forma de determinarlo.

DUREZA.—Se miden 58.3 cc. de la muestra de agua en un frasco de unos 250 cc. de paredes planas y sección rectangular, y con una bu-

reta (las buretas con que cuenta el Ingenio son de aforo automático) se va agregando la solución de jabón valorada, de 0.2 a 0.3 cc. cada vez, agitando enérgicamente después de cada adición, hasta que se forme una espuma permanente de 1 cc. de altura sobre la superficie total del agua, cuando repose la botella sobre uno de sus lados. Dicha espuma durará no menos de 5 minutos. El número de cc. gastados de la solución standard de jabón, menos un blanco de 0.4 cc. da directamente la Dureza Total (H) en granos por galón de CaCO_3 .

Cuando el agua por analizar contiene sales de magnesio, al combinarse químicamente el jabón con el calcio y el magnesio, el calcio reacciona primero:



Al realizar la prueba de dureza, el punto donde se obtiene una falsa espuma, no adherente, de burbujas muy finas y que aparentemente señalan el final de la prueba, es el llamado "Punto de Saturación de Calcio" o "Punto de Calcio" (Ghost Point = G.P.) y se debe a que estando satisfechas químicamente las sales de calcio por el jabón, empiezan a reaccionar con éste las sales de magnesio. El G.P. da la cantidad de sales de calcio presentes en el agua analizada. Para comprobarlo, se leen los cc. gastados y se agregan de golpe 0.5 cc. o 1 cc. de la solución de jabón: si desaparece la espuma se tratará del G.P. Cuando así sea, se continuará agregando solución de jabón hasta lograr la formación de una espuma permanente, gruesa y adherente, que dure no menos de 5 minutos y de unos 2 cm. de espesor estando el frasco vertical. Los cc. gastados de la solución de jabón darán directamente la Dureza Total (H) en g.p.g. de CaCO_3 . Con práctica se termina la valoración rápidamente observando la formación de la es-

puma. Al analizar un agua desconocida debe siempre determinarse el punto de saturación de calcio, restando un blanco de 0.4 cc. de la lectura.

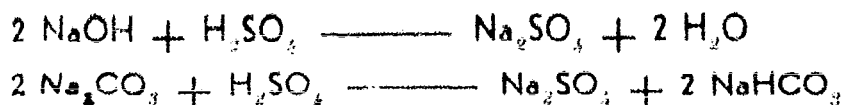
En aguas muy duras que necesiten más de 8 ó 9 cc. de la solución de jabón para los 58.3 cc. de la muestra, se tomará la mitad o la cuarta parte de esa cantidad completando el volumen requerido con agua destilada y teniendo en cuenta la dilución, restando el blanco de 0.4 cc. de la solución jabonosa gastada.

Las sales de calcio al reaccionar con el oleato de sodio de la solución de jabón forman jabones de calcio (Oleato de calcio) insolubles que precipitan, mientras que los jabones de magnesio (Oleato de magnesio) son solubles y permanecen disueltos. Las reacciones químicas de las durezas debidas al magnesio con el oleato de sodio son idénticas a las anteriores, substituyendo el catión calcio por el catión magnesio. Los valores H y G.P. indican únicamente las proporciones que guardan las sales de calcio y las de magnesio, sin hacer ninguna distinción entre sulfatos, bicarbonatos, nitratos, carbonatos o cloruros presentes en el agua analizada.

H — G.P. = Total de sales de magnesio presentes.

"ALCALINIDAD".—La técnica seguida es una aplicación del Método de R.B. Warder. La alcalinidad, como se sabe, es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Por tratarse de aguas cocidas de calderas únicamente contendrán carbonatos e hidróxidos alcalinos y alcalino-térreos, ya que los bicarbonatos se descomponen por la acción del calor transformándose en carbonatos.

Se miden 50 cc. de la muestra enfriada y filtrada; se pone en un Erlenmeyer de unos 300 cc., se agregan unas gotas de indicador de fenolftaleína. Si el agua es de reacción ácida o neutra, permanecerá incolora; si es de pH alcalino tomará una coloración roja. Esta variación será pues para aguas alcalinas a la fenolftaleína. Caso positivo, va agregándose con una bureta el H_2SO_4 -N/10 agitando constantemente hasta descoloración del indicador, que se produce cuando han sido neutralizados todos los hidróxidos y la mitad de los carbonatos:



Se consulta en Tablas especiales (proporcionadas por la E. F. Drew

& Co., Inc. AMERICAN COLLOID DIVISION. New York.) la equivalencia de los cc. de ácido gastados en granos por galón de CaCO_3 que reportan como "Alcalinidad a la fenolftaleína" o "P". Si se usase una solución de H_2SO_4 -N/50 y la valoración se hiciese sobre 58.3 cc. de la muestra, los cc. gastados del ácido nos darían directamente el resultado en g.p.g. de $\text{CaCO}_3 = P$.

Se agregan ahora unas gotas de indicador de naranjado de metilo a la solución incolora anterior, que la colorearán en amarillo y se continúa la titulación con el ácido hasta obtener una coloración rosa ligera o naranjada, con lo que se determina la cantidad de ácido necesario para neutralizar la 2a. mitad de los carbonatos. El total de cc. de ácido decinormal requeridos para la neutralización de los hidróxidos y carbonatos, se consulta en las Tablas, dándonos la "Alcalinidad Total" = M expresada en g.p.g. de CaCO_3 (Es incorrecto reportarla como "Alcalinidad al Naranjado de Metilo".)

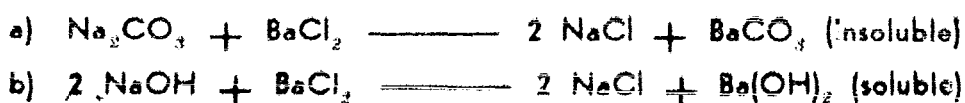
En caso de usar el H_2SO_4 -N/50 sobre una muestra de 58.3 cc., el resultado dará directamente el valor "M" en g.p.g. de CaCO_3 .

"ALCALINIDAD AL CLORURO DE BARIO".—Si las aguas analizadas contienen cantidad apreciable de materia orgánica (contaminación con azúcares, sustancias vegetales en putrefacción, etc.), las valoraciones al naranjado de metilo pueden dar resultados falsos debido a reacciones complejas: serán bajos los hidróxidos y elevados los carbonatos en las aguas cocidas que serán comunmente coloreadas.

Para evitar resultados analíticos falseados por la materia orgánica se emplea el Método de Cl. Winkler para aguas de reacción alcalina a la fenolftaleína.

TECNICA.—Se miden 50 cc. de la muestra filtrada y enfriada, se agregan unas gotas de indicador de fenolftaleína y se valora con H_2SO_4 -N/10 hasta viraje del indicador. El resultado se consulta en las Tablas y se rinde como "P" en g.p.g. de CaCO_3 (Corresponde a la totalidad de los hidróxidos y a la mitad de los carbonatos presentes.)

Una 2a. muestra del agua, de 50 cc. se mide; se le agregan 10 cc. de solución de BaCl_2 al 10% y unas gotas de fenolftaleína, con lo que tienen lugar las reacciones que siguen:



El sodio del carbonato se transforma en cloruro sódico neutro, mientras que el hidróxido sódico da una cantidad equivalente de hidróxido bórico. Se agrega ahora lentamente el H_2SO_4 -N/10 agitando sin cesar hasta desaparición del color rosado, tan pronto como el $Ba(OH)_2$ se ha transformado en $BaSO_4$:



La cantidad de ácido gastada se consulta en las Tablas y se rinde como $P(BaCl_2)$ en g.p.g. de $CaCO_3$. Los cálculos finales para las alcalinidades serán pues:

$$P(BaCl_2) = \text{Hidróxidos Totales en g.p.g. } CaCO_3$$

$$[P - P(BaCl_2)] \times 2 = \text{Carbonatos Totales en g.p.g. } CaCO_3$$

$$\text{hidróxidos} + \text{carbonatos} = \text{"M" Alcalinidad Total en g.p.g. } CaCO_3$$

Si las determinaciones anteriores se hacen con 58.3 cc. de la muestra y se valora con H_2SO_4 -N/50 los resultados dan directamente las alcalinidades en g.p.g. $CaCO_3$.

"CLORUROS".—Se miden 50 cc. de la muestra filtrada y se toma la reacción. Si es alcalina a la fenolftaleína se neutraliza con H_2SO_4 -N/10 hasta descoloración; si es de reacción ácida al naranjado de metilo (color rojizo), se neutralizará con Na_2CO_3 -N/50 hasta viraje del indicador (a amarillo). Una vez neutra el agua por analizar, se le agregan unas gotas de indicador K_2CrO_4 y se valora con la solución $AgNO_3$ -N/10 hasta aparición de un tinte ligeramente rojizo. Se consulta en las Tablas la cantidad gastada y se rinde el resultado en g.p.g. de cloruro de sodio (NaCl). Si se toman 58.3 cc. del agua y se titulan con solución $AgNO_3$ -N/58.3 el resultado da directamente g.p.g. NaCl. La reacción se verifica entre el $AgNO_3$ y todos los cloruros presentes ($MgCl_2$, NaCl, $CaCl_2$, etc.):



"ACIDEZ".—(Esta prueba no se hizo durante la zafra 1944-1945.) Si las aguas cocidas son de reacción ácida al naranjado de metilo (color rosado), no contendrán ni hidróxidos ni carbonatos en solución que son los que imparten la reacción alcalina. Para analizar la acidez se miden 58.3 cc. de la muestra filtrada, se agregan unas gotas de indicador de naranjado de metilo y se valora hasta viraje al amarillo con solución Na_2CO_3 -N/50 que da directamente la acidez "A" en g.p.g. $CaCO_3$.

"SOLIDOS DISUELTOS".—Se estuvieron determinando por vía gravimétrica, en la siguiente forma: Se guardó diariamente una pequeña muestra de las aguas cocidas de cada una de las 4 calderas en servicio en cada análisis realizado. Así por ejemplo, si fueron tres los análisis de rutina de las aguas de calderas en las 24 horas, se separaron 12 pequeñas porciones iguales; se mezclan bien, se miden 50 cc. de las aguas filtradas y se ponen a evaporar en la tapa de una caja de Petri previamente tarada, en baño de vapor y a sequedad. Una vez bien seca se saca del baño y se deja enfriar en un desecador. Se pesa y el aumento de peso se refiere a un litro. Para calcular la cantidad de sólidos disueltos en g.p.g. del resultado anterior: miligramos por litro se multiplica por el factor 58.3 que dará granos por galón de sólidos disueltos.

"SOLIDOS TOTALES".—Se empleó el mismo procedimiento anterior, sólo que los 50 cc. de la muestra promedio fueron "sin filtrar", únicamente agitando bien para homogeneizar los sólidos presentes en las aguas cocidas. Los resultados se rinden en miligramos por litro y en granos por galón. Si en ambas determinaciones se midieran 58.3 cc. de las muestras, el aumento de peso en miligramos, se reportaría como g.p.g. de S.D. o de S.T.

"SOLIDOS EN SUSPENSION".—No se hizo esta determinación. Para ello, es necesario simplemente restar: S.T. — S.D. = S.S. en g.p.g. o mg. por litro.

Por medio del aparato llamado "Nalcómetro" los empleados de la "National Aluminate Corporation" determinan rápidamente los S.D. por vía electrométrica. Durante la zafra 1944-1945 en diversas ocasiones tuve oportunidad de manejar este aparato, que rinde los resultados en g.p.g. Los químicos de la Casa de Calderas del Ingenio pudieron disfrutar de esta comodidad durante la zafra 1945-1946 por haberse adquirido, como se dijo ya, un "Nalcómetro" y un "Fototester" (Fotoelectrocolorímetro.)

Pueden determinarse también los S.D. por medio de hidrómetros. Este método, muy aceptado en Inglaterra, está basado en el principio de que "la cantidad de sólidos en solución es aproximadamente proporcional a la densidad de la solución." La densidad del agua de calderas puede tomarse por dicha razón como un dato, siendo el "HIDROMETRO DE TWADDELL" útil para este objeto. La determinación se efectúa enfriando el agua cocida a 60° F. = 15.5° C., vertiéndola en

una probeta y sumergiendo el hidrómetro. Cuando se pone inmóvil, se lee la densidad en "Grados Twaddell". De no ser esa temperatura hay necesidad de corregir el grado obtenido en tablas ad hoc. Este método no da resultados absolutamente precisos debido a las diferentes densidades de las sales en solución; es sin embargo, una guía útil. El grado Twaddell a 60° F. puede relacionarse con el dato de que el agua de mar con cerca de 2500 g.p.g. de S.D. tiene una densidad de casi 5° Twaddell. Sobre esta base puede tomarse dicho grado como equivalente a 500 g.p.g.

Otro método para la medición de la densidad o concentración salina es el "SALINOMETRO MARINO" que opera igual que un hidrómetro y está calibrado en 32avos con agua a 200° F. = 93.3° C. En este caso se toma al agua de mar como si tuviese una concentración salina de 2200 g.p.g., midiendo el salinómetro marino 1/32 en tal agua.

Para terminar este Capítulo de Control Químico de las Aguas de Calderas, se citarán dos métodos analíticos más: uno por colorimetría para la determinación de la sílice (SiO₂) y otro por turbidimetría para la determinación de los sulfatos (SO₄) en aguas cocidas. Realicé ambas determinaciones varias veces bajo la dirección del Ing. R. Rodríguez Leal, Químico en Jefe de "Aluminatos de México, S. A." a quien debo la cortesía de la fórmula para la determinación colorimétrica de la sílice o arena y la enseñanza del manejo del fototester.

"DETERMINACION COLORIMETRICA DEL SiO₂"

- 1o.—Disolver 284 g. de molibdato de amonio en 3000 cc. de agua destilada. Agregar 227 cc. de H₂SO₄ concentrado y químicamente puro, tomando precauciones contra el rápido calentamiento del agua. Enfriar y aforar hasta un galón (U.S.) con agua destilada (SOLUCION I.)
- 2o.—Disolver 1630 g. de citrato de sodio en agua y llevar a un galón (SOLUCION II.)
- 3o.—Disolver 18.0 g. de 1-amino . 2-naftol . 1-4-ácido sulfónico y 90.3 g. de sulfito de sodio (Na₂SO₃ . 7 H₂O) en un litro de agua aproximadamente. Calentar ligeramente. Agregar 956.4 de sulfito de sodio disuelto en agua y ajustar a 12 litros el volumen total. Límite de esta solución: 2 meses (SOLUCION III.)

TECNICA.—Se toman 10 cc. del agua por analizar medidos exactamente y se ponen en un frasco especial (vidrio blanco y tapón de rosca); se agrega 1 cc. de la solución I y se deja en reposo 5 minutos después de haberlo agitado bien, con lo cual la muestra toma una coloración amarillenta, más o menos intensa, dependiendo de la cantidad de SiO_2 presente. Se adicionan 2 cc. de la solución II con lo que se define el incremento del color amarillo, y enseguida se ponen 0.5 cc. de la solución III por medio de un gotero graduado en 0.5 y 1 cc. Se deja obrar el reactivo III exactamente un minuto, con lo cual la solución toma una coloración azul más o menos intensa, dependiendo de la cantidad presente de SiO_2 . Pónese inmediatamente el frasquito en el fototester (se ajustó previamente a 0 la escala del aparato) y se hace la lectura de los milivoltts marcados por la aguja, que en el caso especial de las aguas de alimentación de las 19 horas del jueves 22 de febrero de 1945 fué de 22. Se consulta en Tablas Especiales la correspondencia de los milivoltts con g.p.g. (U.S.) de SiO_2 que fué de 0.23 g.p.g.

NOTA.—Si se pasa la lectura de la anotación de la Tabla, se harán las correcciones correspondientes tomando una parte alícuota del agua en examen.

Como casi siempre el agua destilada contiene SiO_2 deberá controlarse el valor "blanco".

"DETERMINACION TURBIDIMETRICA DE SULFATOS (SO_4)"

REACTIVOS:

SO_4 -1 = HCl q.p. diluido al 1:1

SO_4 -2 = 20 a 30 mg. de BaCl_2 q.p.

TECNICA.—Se miden exactamente 15 cc. de la muestra de agua y se ponen en el frasquito ad hoc. Se agrega 1 cc. del reactivo SO_4 -1, se mezcla bien y después con una cucharilla especial se adicionan 20 a 30 mg. del reactivo SO_4 -2 (Totalmente rasada la cucharilla mide esa cantidad). Se deja obrar durante 5 minutos agitando sin cesar. Pónese inmediatamente al fototester y se hace la lectura. Para la misma agua de alimentación de la prueba anterior dió 0.1 de lectura, que consultada en las Tablas Especiales dió el resultado de 0.15 g.p.g. (U.S.) de sulfatos.

NOTA.—La determinación se verifica para un máximo de sulfatos de 10 g.p.g. (U.S.) Si se pasa la lectura de la anotación de la Tabla, se harán las correcciones correspondientes tomando una parte alícuota del agua en examen.

CAPITULO IX

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS ANALITICOS OBTENIDOS

Es de gran importancia para el Químico el saber interpretar debidamente los reportes analíticos suministrados por el Laboratorio. Se citó ya en el Capítulo III las diversas clases de aguas de que dispone el Ingenio para su funcionamiento. Ampliando esos datos, se pueden considerar 4 clases de aguas:

- a) Agua cruda Agua del Manantial de Chihuahuita (Bicarbonatada, ligeramente silicosa).
 Agua del Pozo Nuevo (Sulfatada, ligeramente silicosa).
- b) Agua de alimentación (Mezcla de agua procedente del retorno de condensados en un 70% y agua cruda en un 30% aproximadamente.)
- c) Agua de condensados (Que es la más pura).
- d) Agua cocida (Agua de caldera).

Respecto del agua del Río Apallaco no se menciona en la anterior clasificación por no emplearse sino para la condensación y la limpieza del Ingenio.

a).—AGUA CRUDA es aquella que se toma en su estado natural y no se la ha sometido a ningún tratamiento que la modifique. Por des-

conocerse su calidad, esto es, los gases y sales que lleva en disolución así como los cuerpos sólidos que lleva en suspensión, son de gran importancia sus resultados analíticos, que indicarán el tratamiento químico que requiera para hacerla apta para la alimentación de las calderas, sin resultados nocivos para el equipo (incrustación, corrosión, etc.)

b).—AGUA DE ALIMENTACION es la que entra directamente a las calderas. En el Ingenio de Zacaitepec se usa como tal una mezcla de agua de condensados con agua cruda.

c).—AGUA DE CONDENSADOS es la más pura, requiriendo el mínimo de tratamiento.

d).—AGUA COCIDA es la que se encuentra dentro de la caldera en sus condiciones normales de trabajo. A estas aguas se les han agregado reactivos químicos (tratamiento interno) para impedir que causen efectos perjudiciales en las superficies metálicas que están en contacto ya sea con el agua o con su vapor.

Para generalizar los reportes analíticos suministrados por el Laboratorio se hace uso de un sistema standard de símbolos o abreviaturas aceptados por todas las autoridades en la materia. Algunos de los símbolos no son sino las fórmulas químicas en tanto que otros se idearon para abreviar y facilitar los trabajos de rutina eliminando la necesidad de hacer descripciones en lenguaje químico largo y complicado.

La mayor parte de los resultados están expresados en "Granos por Galón" (U.S.) equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3) con excepción de unos pocos que se expresan en sus propios pesos.

SIMBOLO	CONCEPTO	EXPRESADO EN:
A	Acidez Total.	g.p.g. CaCO_3
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Bicarbonato de calcio.	g.p.g. CaCO_3
CaH	Dureza de calcio	g.p.g. CaCO_3
CaCO_3	Carbonato de calcio.	g.p.g. CaCO_3
CaSO_4	Sulfato de calcio.	g.p.g. CaCO_3
Cl	Cloruros Totales.	g.p.g. NaCl
CO_2	Bióxido de carbono libre.	g.p.g. CaCO_3
G.P. (Ghost Point)	Dureza de calcio o Punto de Saturación de calcio = CaH	g.p.g. CaCO_3
H (Hardness)	Dureza Total.	g.p.g. CaCO_3

SIMBOLO	CONCEPTO	EXPRESADO EN:
HCO ₃	Bicarbonatos.	g.p.g. CaCO ₃
Mg(HCO ₃) ₂	Bicarbonato de magnesio.	g.p.g. CaCO ₃
MgH	Dureza de magnesio.	g.p.g. CaCO ₃
MgCO ₃	Carbonato de magnesio.	g.p.g. CaCO ₃
MgSO ₄	Sulfato de magnesio.	g.p.g. CaCO ₃
M	Alcalinidad Total o Alcalinidad al naranjado de metilo.	g.p.g. CaCO ₃
NaHCO ₃	Bicarbonato de sodio.	g.p.g. CaCO ₃
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio.	g.p.g. CaCO ₃
NaCl	Cloruro de sodio.	g.p.g.
NaOH	Hidróxido de sodio.	g.p.g. CaCO ₃
Na ₂ SO ₄	Sulfato de sodio.	g.p.g.
NaA	Alcalinidad del sodio.	g.p.g. CaCO ₃
OH	Hidróxidos.	g.p.g. CaCO ₃
P	Alcalinidad a la fenolftaleína.	g.p.g. CaCO ₃
p(BaCl ₂)	Alcalinidad al cloruro de bario.	g.p.g. CaCO ₃
PO ₄	Fosfatos.	g.p.g.
S.D.	Sólidos Disueltos.	g.p.g.
SO ₄	Sulfatos.	g.p.g. Na ₂ SO ₄
SH	Dureza de sulfatos.	g.p.g. CaCO ₃
S.S.	Sólidos en suspensión.	g.p.g.
S.T.	Sólidos Totales.	g.p.g.

Debe tenerse presente que la alcalinidad total M o alcalinidad al naranjado de metilo nos da el total de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. En casi todas las aguas naturales o aguas crudas la alcalinidad total se presenta en forma de bicarbonatos con trazas de carbonatos. Por lo que respecta a los hidróxidos, es muy raro encontrarlos en estas aguas porque reaccionan con los bicarbonatos para formar carbonatos neutros insolubles que precipitan o bien absorben CO₂ transformándose en bicarbonatos solubles. El hidróxido de magnesio es el único hidróxido que puede existir como tal debido a su insolubilidad, bajo la forma de materia en suspensión, separable por filtración o sedimentación.

Conocidas ya las causas de la incrustación y corrosión, únicamente se verá la aplicación práctica de los datos del análisis.

La composición química de las principales impurezas formadoras de incrustaciones en un agua cruda, puede determinarse de las relaciones de H, G.P. y M. Las cantidades de los compuestos respectivos están expresadas en sus equivalentes en peso de CaCO_3 , por ser el cuerpo principalmente responsable de la dureza e incrustación, así como por tener su peso molecular igual a 100 que hace las relaciones muy sencillas en función de decimales y de recíprocos.

"AGUAS CRUDAS"

Pueden presentarse cinco casos diferentes:

1o.

Si $G.P. > M$ Luego: $H - M =$ dureza de sulfatos (SH)
 $M =$ dureza de bicarbonatos (HCO_3)

$H - G.P. =$ sulfato de magnesio (MgSO_4)
 $G.P. - M =$ sulfato de calcio (CaSO_4)
 $M =$ bicarbonato de calcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$]
 $H =$ dureza total (como CaCO_3)

2o.

Si $G.P. < M$ Luego: $H - M =$ dureza de sulfatos (SH)
 $M =$ dureza de bicarbonatos (HCO_3)

$H - M =$ sulfato de magnesio (MgSO_4)
 $M - G.P. =$ bicarbonato de magnesio [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$]
 $G.P. =$ bicarbonato de calcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$]
 $H =$ dureza total (como CaCO_3)

3o.

Si $G.P. = M$ Luego: $H - M =$ dureza de sulfatos (SH)
 $M =$ dureza de bicarbonatos
(HCO_3)

$H - M =$ sulfato de magnesio ($MgSO_4$)
 $M =$ bicarbonato de calcio [$Ca(HCO_3)_2$]
 $H =$ dureza total (como $CaCO_3$)

4o.

$M > H$ Luego: $H - M =$ negativo, no hay dureza de sulfatos
presente.

$M - H =$ bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)
 $H - G.P. =$ bicarbonato de magnesio [$Mg(HCO_3)_2$]
 $G.P. =$ bicarbonato de calcio [$Ca(HCO_3)_2$]
 $H =$ dureza total (como $CaCO_3$)

5o.

$M = 0$ Luego: $H - M =$ dureza de sulfatos (SH)
Como $M = 0$ no hay bicarbonatos y la
dureza se debe por completo a los sulfatos.

$H - G.P. =$ sulfato de magnesio ($MgSO_4$)
 $G.P. =$ sulfato de calcio ($CaSO_4$)
 $H =$ dureza total (como $CaCO_3$)

Tóngase presente que en los cinco casos anteriores $P = 0$ por ser indiferente la fenolftaleína a los bicarbonatos.

Aunque el sulfato de sodio no está considerado comúnmente como formador de incrustaciones, es importante en los problemas de las aguas de calderas por ser muy soluble a altas temperaturas y estar disuelto en altos porcentajes debido a que los sulfatos de calcio y de magnesio al reaccionar con las sales de sodio del tratamiento forman Na_2SO_4 , que aumenta constantemente la concentración de S.D. que es una de las causas del "espumajo" o "fermentación". Debe procurarse que su concentración sea baja para evitar los purgados frecuentes de la caldera, con sus naturales inconvenientes.

La sílice debe investigarse separadamente al analizar un agua cruda para calderas, y esto se hará periódicamente (siempre que no se cambie la fuente de abastecimiento).

Aplicamos ahora los casos tratados a las aguas del Ingenio (Véase el Capítulo III).

ANALISIS NUMERO 1

Datos de la muestra: Agua del Manantial de Chihuahuita

ANALISIS

H	6.0	Luego: $M > H$ (Caso 4o.)
G.P.	2.4	
M	6.5	$6.5 > 6.0$
P	0.0	
Cl	0.3	
SO_4	1.6	$6.0 - 6.5 =$ negativo, no hay dureza
SiO_2	2.5	de sulfatos, de donde:
S.D.	15.1	Dureza de no-carbonatos

(como CaCO_3) 0.0 g.p.g.

COMBINACIONES PROBABLES

SiO_2	2.5	$6.5 - 6.0 = 0.5$ g.p.g. bicarbonato de sodio.
CaCO_3	2.4	
MgCO_3	3.0	$6.0 - 2.4 = 3.6$ g.p.g. bicarbonato de magnesio.
Na_2CO_3	5.3	
NaCl	0.3	G.P. = 2.4 g.p.g. bicarbonato de calcio.
Na_2SO_4	1.6	$3.6 + 2.4 = 6.0$ g.p.g. dureza total (como CaCO_3).

Como el bicarbonato de magnesio está expresado en su peso equivalente de CaCO_3 , vamos a dividirlo por el factor 1.19 (resulta de dividir el Peso Molecular del $\text{CaCO}_3 = 100.0$ entre el Peso Molecular del $\text{MgCO}_3 = 84.3$ que nos da el cociente 1.186): $3.6/1.19 = 3.0$ g.p.g. MgCO_3 .

Sumamos ahora los pesos del SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , NaCl y Na_2SO_4 : $2.5 + 2.4 + 3.0 + 0.3 + 1.6 = 9.8$. El Na_2CO_3 lo calculamos por diferencia entre el peso de los sólidos disueltos (S.D.) menos la suma anterior 9.8 o sea: $15.1 - 9.8 = 5.3$ g.p.g. Na_2CO_3 .

Y sumando los pesos de las combinaciones probables que acabamos de determinar nos da el resultado 15.1 g.p.g. (U.S.) igual al resultado analítico.

Vemos además, que de las combinaciones probables, los cuerpos formadores de incrustaciones son el SiO_2 , el CaCO_3 y el MgCO_3 ; sumamos sus pesos:

$$2.5 + 2.4 + 3.0 = 7.9 \text{ g.p.g.}$$

Si 1 libra = 7000 granos

Luego,

$$7.9 \text{ granos hav en 1 galón (U.S.)}$$

$$X = 7900 \text{ granos/1000 gal.}$$

$$X \text{ granos habrá en 1000 galones.}$$

Y en libras tendremos: $7900/7000 = 1.1 \text{ lbs./1000 gal. (U.S.)}$ de materia formadora de incrustaciones.

Los cuerpos no-formadores de incrustaciones de las combinaciones probables, son: Na_2CO_3 , NaCl y Na_2SO_4 ; la suma de sus pesos es: $5.3 + 0.3 + 1.6 = 7.2$ g.p.g.

Haciendo el mismo razonamiento anterior, queda:

$$7200/7000 = 1.0 \text{ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia no-formadora de incrustaciones.}$$

Como se ve, los resultados obtenidos concuerdan con los del ANALISIS No. 1.

ANALISIS NUMERO 2

Datos de la muestra: Agua del Pozo Nuevo.

ANALISIS

H	24.0	Luego: G.P. > M (Caso 1o.)	
G.P.	14.4	14.4 > 11.9	
M	11.9		
P	0.0		
Cl	1.0	24.0 — 11.9 = 12.1 g.p.g. dureza de sulfatos, de donde:	
SO ₄	17.4		
SiO ₂	4.2	Dureza de no-carbonatos	
S.D.	32.2	[como (CaCO ₃)]	12.1 g.p.g.

COMBINACIONES PROBABLES

SiO ₂	4.2	24.0 — 14.4 = 9.6 g.p.g. MgSO ₄	
CaCO ₃	11.9	14.4 — 11.9 = 2.5 g.p.g. CaSO ₄	
CaSO ₄	3.4	M = 11.9 g.p.g. Ca(HCO ₃) ₂	
MgSO ₄	11.5	H = 9.6 + 2.5 + 11.9 = 24.0 g.p.g.	
NaCl	1.0	dureza total (como CaCO ₃).	
Na ₂ SO ₄	0.2		

Como el sulfato de calcio y el sulfato de magnesio están expresados en sus pesos equivalentes de carbonato de calcio vamos a hacer los siguientes cálculos para que queden con sus pesos reales:

El peso 9.6 g.p.g. MgSO₄ vamos a dividirlo por el factor 0.83 (resulta de dividir el Peso Molecular del CaCO₃ = 100.0 entre el Peso Molecular del MgSO₄ = 120.4, que nos da el cociente 0.83): 9.6/0.83 = 11.5 g.p.g. MgSO₄ real.

El peso 2.5 g.p.g. CaSO₄ vamos a dividirlo por el factor 0.74 (resulta de dividir el P.M. del CaCO₃ = 100.0 entre el P.M. del CaSO₄ = 136.1, que nos da el cociente 0.74): 2.5/0.74 = 3.4 g.p.g. CaSO₄ real.

Sumamos ahora los pesos del SiO₂, CaCO₃, CaSO₄, MgSO₄ y NaCl:

4.2 + 11.9 + 3.4 + 11.5 + 1.0 = 32.0. El sulfato de sodio lo calculamos por diferencia entre el peso de los sólidos disueltos (S.D.) menos la suma anterior: 32.2 — 32.0 = 0.2 g.p.g. Na₂SO₄.

Y sumando los pesos de las combinaciones probables que acabamos de determinar, nos da el resultado de 32.2 g.p.g. (U.S.) de S.D., igual al resultado analítico.

Vamos además, que de las combinaciones probables los cuerpos formadores de incrustaciones son el SiO_2 , el CaCO_3 , el CaSO_4 y el MgSO_4 . Sumamos sus pesos: $4.2 + 11.9 + 3.4 + 11.5 = 31.0$ g.p.g.

Y por análogos razonamientos, tendremos: $31000/7000 = 4.4$ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia formadora de incrustaciones.

Los cuerpos no-formadores de incrustaciones de las combinaciones probables, son: NaCl y Na_2SO_4 , cuya suma es: $1.0 + 0.2 = 1.2$ g.p.g.

Por el mismo raciocinio, queda: $1200/7000 = 0.17$ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia no-formadora de incrustaciones.

Resultados concordantes con los del ANALISIS No. 2.

ANALISIS NUMERO 3

Datos de la muestra: Agua de alimentación de calderas.

ANALISIS

H	1.4	Luego: $M > H$ (Caso 4o.)
G.P.	0.9	$1.4 - 1.8 =$ negativo, no hay
M	1.8	
P	0.0	dureza de sulfatos, de donde:
Cl	0.4	Dureza de no-carbonatos
SO_4	0.9	(como CaCO_3) 0.0 g.p.g.
SiO_2	0.6	
S.D.	3.6	

COMBINACIONES PROBABLES

SiO_2	0.6	$1.8 - 1.4 = 0.4$ g.p.g. NaHCO_3
CaCO_3	0.9	$1.4 - 0.9 = 0.5$ g.p.g. $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
MgCO_3	0.4	G.P. = 0.9 g.p.g. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Na_2CO_3	0.4	
NaCl	0.4	$H = 0.5 + 0.9 = 1.4$ g.p.g. dureza
Na_2SO_4	0.9	total (como CaCO_3).

Como el bicarbonato de magnesio está expresado en su peso equivalente de CaCO_3 , vamos a dividirlo por el factor 1.19 (resulta de dividir el P.M. del $\text{CaCO}_3 \equiv 100.0$ entre el P.M. del $\text{MgCO}_3 \equiv 84.3$, que nos da el cociente 1.186): $0.5 \cdot 1.19 \equiv 0.4$ g.p.g. MgCO_3 real.

Sumamos ahora los pesos del SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , Na_2CO_3 y NaCl : $0.6 + 0.9 + 0.4 + 0.4 + 0.4 \equiv 2.7$. El Na_2SO_4 lo calculamos por diferencia entre el peso de los sólidos disueltos (S.D.) menos la suma anterior: $3.6 - 2.7 \equiv 0.9$ g.p.g. Na_2SO_4 .

Y sumando los pesos de las combinaciones probables que acabamos de determinar, nos da el resultado de 3.6 g.p.g. (U.S.) igual al resultado analítico.

De las combinaciones probables, vemos que los cuerpos formadores de incrustaciones son la sílice, el carbonato de calcio y el carbonato de magnesio. Sumando sus pesos, tendremos:

$$0.6 + 0.9 + 0.4 \equiv 1.9 \text{ g.p.g.}$$

Por análogos razonamientos a los de los ejemplos anteriores, nos dará: $1900/7000 \equiv 0.27$ lbs. 1000 gal. (U.S.) de materia formadora de incrustaciones.

Los cuerpos formadores de no-incrustaciones de las combinaciones probables, son: carbonato sódico, cloruro sódico y sulfato sódico, cuya suma es: $0.4 + 0.4 + 0.9 \equiv 1.7$ g.p.g.

Por el mismo raciocinio anterior, queda: $1700/7000 \equiv 0.24$ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia no-formadora de incrustaciones.

Resultados concordantes con los del ANALISIS No. 3.

ANALISIS NUMERO 5

(De las aguas de condensados contaminadas por azúcares).

Datos de la muestra: Agua de los condensados, provenientes de los Evaporadores y de los Tachos (Mezclados).

ANALISIS

H	4.7	Luego: G.P. < M (Caso 2o.)
G.P.	2.8	2.8 < 3.0
M	3.0	
P	0.0	4.7 - 3.0 = 1.7 g.p.g. dureza de sulfatos, de donde:
Cl	0.4	
SO ₄	5.4	Dureza de no-carbonatos
SiO ₂	1.0	(como CaCO ₃) 1.7 g.p.g.
S.D.	9.4	M = 3.0 g.p.g. dureza de bicarbonatos.

COMBINACIONES
PROBABLES

SiO ₂	1.0	4.7 - 3.0 = 1.7 g.p.g. MgSO ₄
CaCO ₃	2.8	3.0 - 2.8 = 0.2 g.p.g. MgCO ₃
MgCO ₃	0.2	G.P. = 2.8 g.p.g. CaCO ₃
MgSO ₄	2.0	H = 1.7 + 0.2 + 2.8 = 4.7 g.p.g.
NaCl	0.4	dureza total (como CaCO ₃).
Na ₂ SO ₄	3.0	

Como el carbonato de magnesio y el sulfato de magnesio están expresados en sus pesos equivalentes de carbonato de calcio, vamos a hacer los siguientes cálculos para que queden con sus pesos reales:

El peso 1.7 g.p.g. MgSO₄ lo dividimos por el factor 0.83 (Cociente de la división del P.M. del CaCO₃ = 100.0 entre el P.M. del MgSO₄ = 120.4): 1.7 / 0.83 = 2.0 g.p.g. MgSO₄ real.

El peso 0.2 g.p.g. MgCO₃ lo dividimos por el factor 1.19 (Cociente de la división del P.M. del CaCO₃ = 100.0 entre el P.M. del MgCO₃ = 84.3): 0.2 / 1.19 = 0.168 o sean, aproximando 0.2 g.p.g. MgCO₃ real.

Sumando ahora los pesos del SiO₂, CaCO₃, MgCO₃, MgSO₄ y NaCl: 1.0 + 2.8 + 0.2 + 2.0 + 0.4 = 6.4. El sulfato de sodio lo calculamos por diferencia entre el peso de los sólidos disueltos (S.D.) menos la suma anterior 6.4 o sea: 9.4 - 6.4 = 3.0 g.p.g. Na₂SO₄.

Y sumando los pesos de las combinaciones probables que acabamos de determinar, nos da el resultado de 9.4 g.p.g. (U.S.) igual al sulfato analítico.

Puede observarse que de las combinaciones probables, los cuerpos formadores de incrustaciones son el SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 y MgSO_4 . Sumando sus pesos queda: $1.0 + 2.8 + 0.2 + 2.0 = 6.0$ g.p.g.

Por el mismo razonamiento de los análisis anteriores, tendremos: $6000/7000 = 0.85$ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia formadora de incrustaciones.

Los cuerpos formadores de no-incrustaciones de las combinaciones probables, son: NaCl y Na_2SO_4 . La suma de sus pesos es de: $0.4 + 3.0 = 3.4$ g.p.g.

Por el mismo raciocinio, queda: $3400/7000 = 0.49$ lbs./1000 gal. (U.S.) de materia formadora de no-incrustaciones.

Resultados concordantes con los del ANALISIS No. 5.

Por lo que respecta a las aguas cocidas de calderas, deben determinárseles los siguientes conceptos para asegurar su tratamiento completo:

pH, H, M, P, Cl, SO_4 , S.D. y S.T.

De los datos anteriores, pueden deducirse los resultados siguientes:

H = dureza total.

M = alcalinidad total.

H - M = dureza de sulfatos (SH).

M - H = alcalinidad del sodio (NaA).

2P - M = hidróxidos (OH).

M - 2P = bicarbonatos (HCO_3).

NaA - OH = carbonato de sodio (Na_2CO_3).

SO_4 = sulfatos totales.

Cl = cloruros totales.

Sean los dos casos siguientes:

1o. M > H

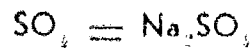
Luego: H = CaCO_3

2P - M = NaOH

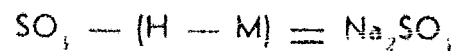
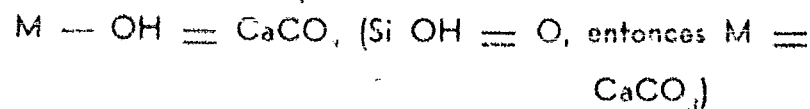


$M - 2P =$ negativo; no hay bicarbonatos. (Por tratarse de un agua cocida.)

$H - M =$ negativo; no hay dureza de sulfatos.



2o. $M < H$



Si en un agua "suavizada" completamente, sumamos: $H + NaOH + Na_2CO_3 + NaCl + Na_2SO_4$ y esta suma se resta del total de S.D. el resultado dará la sílica total, alúmina y materia orgánica en solución.

En el control del tratamiento interno de aguas de calderas se notará que la alcalinidad del sodio se eleva con las dosis aumentadas de soda ash y de aluminato de sodio, en tanto que la dureza disminuye hasta reducirse a cero o cerca de cero. Teóricamente, un buen tratamiento interno deberá reducir a 0 la dureza permanente y dará alcalinidades altas que sirven como protección contra la incrustación, corrosión y otros factores nocivos. Inversamente, al disminuir la alcalinidad del sodio por reducción de la dosis de soda ash y de aluminato de sodio, aumentará la dureza. Algunos autores recomiendan un mínimo de dureza de 0.1 g.p.g. para tener la certeza de que el agua de calderas no está siendo "sobretrotada" ya que si $H = 0$ no podrá saberse si las alcalinidades del sodio son innecesariamente altas o no como resultado de un tratamiento excesivo, que a más de ser anti-económico podría originar la fragilización cáustica de las paredes y tubos de las calderas. Las durezas deberán oscilar entre 0.1 y 0.5 g.p.g. y se tendrá como norma, mantener las alcalinidades de las aguas de calderas tan bajas

como sea posible que permitan tener durezas satisfactorias e impidan la corrosión o picaduras y la conservación de superficies libres de incrustaciones.

Las lecturas de alcalinidades totales M que prevengan la formación de costras serán de 10 a 35 g.p.g. Para controlar las purgas o descargas de lodos y S.D. en las aguas cocidas se confrontarán las lecturas de M, Cl y S.D.; un exceso de purgas ocasionan súbitos descensos de la presión del vapor, desperdicio de agua, de calor y de reactivos, en tanto que un purgado insuficiente provocará espumaje, "disparo" o "golpe inicial del agua", concentraciones alcalinas peligrosas que pueden ocasionar la fragilización cáustica, etc.

Las calderas de la Fábrica de Azúcar del Ingenio de Zacatepec en razón a su baja concentración de S.D. se purgaban tres veces al día de acuerdo con el siguiente horario:

PURGAS: 8, 16, 24 horas.

MUESTRAS: 9, 15.30, 23 horas.

La caldera de la Fábrica de Alcohol, debido a su elevada concentración de S.D. se purgaba seis veces en 24 horas.

Se ha demostrado matemáticamente que la relación de los cloruros totales a los S.D. en un agua de calderas completamente tratada, permanece constante. Dividiendo el promedio de los S.D. por el promedio de cloruros tendremos el llamado "Factor de Sólidos Totales" (F.S.T.) que se determinará semanalmente. Bastará multiplicar los cloruros totales (obtenidos de los análisis de rutina) por el factor F.S.T. para obtener aproximadamente el valor de los S.D. de las aguas cocidas. Hay fórmulas que permiten calcular el porcentaje de purgas que deben hacerse diariamente.

"RESUMEN DE BUENAS CONDICIONES DE AGUA DE CALDERAS" (Según F. J. Matthews.)

CONDICIONES DE LA PLANTA	CONCEPTO	CONDICIONES	OBSERVACIONES
Presiones bajas y moderadas. (Con referencia particularmente a las presiones inferiores a 350 lbs. por pulgada cuadrada.)	Valor del pH	Alimentación: 8.5 Calderas: superior a 9.5	
	Oxígeno disuelto	Alimentación: menos de 0.1 cc. por litro.	
	Alcalinidad	Calderas: no más de 50 g.p.g.	Esta se refiere a la alcalinidad cáustica.
	Sólidos Totales	Calderas: no más de 500 g.p.g.	Depende mucho de las condiciones particulares. — Las calderas LANCS., según experiencia del autor han arrastrado más de 4000 g.p.g.
	Dureza	Calderas: tan baja como sea posible.	
	Aceite, grasa	Ausencia completa.	
	Relaciones que condicionan la fragilización cáustica	Calderas: bajos porcentajes de NaOH, inferiores a 6000 g.p.g. = 103 gramos por litro.	

CONDICIONES DE LA PLANTA	CONCEPTO	CONDICIONES	OBSERVACIONES
Altas presiones: 600-850 lbs./pulgada cuadrada.	Oxígeno disuelto	Alimentación: menos de 0.02 cc. por litro.	
	Alcalinidad	Calderas: 25 granos por galón como máximo.	Esta se refiere a la alcali- nidad cáustica.
	Sólidos Totales	Calderas: 150 g.p.g. co- mo máximo.	
	Dureza	Cero.	
850-1500 lbs./pulgada cuadrada.	Oxígeno disuelto	Alimentación: menos de 0.02 cc. por litro.	
	Alcalinidad	Calderas: 15 granos por galón como máximo.	Esta se refiere a la alcali- nidad cáustica.
	Sólidos Totales	Calderas: 100 granos por galón como máximo.	
	Dureza	Rastros.	
	Aceite, grasa	Ausencia completa.	
	Relaciones que condicio- nan la fragilización cáustica.	Calderas: bajos porcen- tajes de NaOH, infe- riores a 6000 g.p.g. = 103 gramos por litro.	

CAPITULO X
CONTROL DEL APARATO MEDIDOR DE COMBUSTION
MARCA "HAYS"

El Medidor de Combustión "HAYS" opera directamente sobre el principio de Orsat de medición volumétrica y absorción química. Difiere del Aparato Manual de Orsat solamente por su mayor capacidad, su operación automática y en su mayor tosquedad, que lo capacita para resistir las grandes exigencias de las modernas plantas de vapor.

PRINCIPIO DEL ORSAT

- 1o.—Una muestra de la mezcla del gas es encerrada y medida exactamente.
- 2o.—La muestra se pasa a través de un medio de absorción (Solución "Cardisorber", que es una solución de potasa cáustica, KOH, al 33%) que absorbe el bióxido de carbono de la mezcla.
- 3o.—Después de la absorción la muestra es nuevamente medida y su volumen comparado con el de la muestra original. La diferencia de antes y después de la absorción da una indicación exacta del porcentaje del bióxido de carbono absorbido por el medio.

Se admite que el porcentaje de bióxido de carbono (CO_2) en proporción adecuada en los gases de la chimenea es uno de los índices más seguros de eficiencia y economía de la combustión. El exceso de aire es la causa directa de las mayores pérdidas debidas al deficiente aprovechamiento de las distintas clases de combustibles por la industria — el porcentaje de CO_2 — en los gases de la chimenea da la indicación exacta de la cantidad de aire en exceso que está siendo

utilizada. En otras palabras, conociendo el CO_2 se conoce si el Departamento de Calderas está o no operando con la EFICIENCIA Y ECONOMIA más grandes posibles.

El carbono y el hidrógeno son los dos elementos que al arder producen calor en todos los combustibles. La combustión es un proceso químico en el cual un átomo de carbono reacciona con dos átomos de oxígeno formando CO_2 y dos átomos de hidrógeno se combinan con un átomo de oxígeno para formar agua (bajo la forma de vapor). Este vapor al condensarse en agua daría resultados falsos al tomarse para un análisis volumétrico, pero el CO_2 puede medirse y es la clave real de una combustión eficiente.



Apurato Medidor de Combustión marca "HAYS"

El aire contiene en volumen, aproximadamente, 20% de oxígeno y 80% de nitrógeno. Si todo el oxígeno fuese consumido al arder el

carbón los gases resultantes contendrían 20% de CO_2 y 80% de nitrógeno. Se encuentra en la práctica, sin embargo, que debe emplearse algún exceso de aire con objeto de asegurar que todas las partículas de carbón del combustible se pondrán en contacto con el oxígeno suficiente para una combustión completa. Si se usase un 100% de aire en exceso, los gases de la chimenea se diluirían de manera que contendrían entonces un 10% de CO_2 . Si se emplease un exceso de aire de un 300%, los gases de la chimenea contendrían un 5% de CO_2 .

Así pues, una combustión teóricamente perfecta o sea la cantidad exacta de aire necesaria para consumir completamente el combustible nos da 20% de CO_2 . Usando 100% de aire en exceso o duplicando la cantidad necesaria para la combustión se corta el porcentaje de CO_2 a la mitad y esto significa una pérdida inmediata de combustible de 5.74%. Un 300% de exceso de aire reduce el CO_2 a 5%, lo que significa una pérdida de combustible de un 23%. La Tabla siguiente muestra con claridad estas pérdidas.

"PERDIDAS DE COMBUSTIBLE CON LAS VARIACIONES DEL CO_2 "

<u>% CO_2</u>	<u>% PERDIDA</u>
20%	0%
15	0.52
14	0.83
13	1.78
12	2.89
11	4.21
10	5.74
9	7.67
8	10.08
7	13.1
6	17.25
5	23
4	31.6
3	46.05
2	74.7

Esta pérdida de combustible es un factor serio en la operación de plantas de vapor de cualquier tamaño: "Debe ser prevenido definiti-

vamente conociendo el CO_2 contenido en los gases de la combustión haciendo los arreglos necesarios en la relación aire-combustible".

El Medidor de Combustión "HAYS" mide exactamente el CO_2 contenido en los gases de la chimenea, mostrando cuáles son las condiciones exactas de tiro en el horno y la temperatura de los gases de escape que atraviesan la chimenea.

FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR DE COMBUSTION "HAYS"

El Medidor de Combustión "HAYS" es operado por una pequeña corriente de agua que pasa a través del aspirador "A", aspirando el gas de la chimenea a través de la cámara de medición (3). Esta misma agua llena luego el depósito regulador (1) para proveer fuerza motriz para el análisis y para controlar la temperatura y presión de la muestra de gas.

Tan luego el agua se acumula en el depósito regulador alcanzando el nivel "V", es atrapada una cantidad de gas. Como continúa subiendo el nivel de agua, forza al gas encerrado hacia arriba a la bolsa (de hule) atmosférica (4) hasta que el agua alcanza el nivel "W", con lo cual queda medida exactamente a la presión atmosférica, una muestra del gas en la cámara de medición.

Cuando el agua se eleva más, la muestra de gas es forzada desde la cámara de medición (3) a la cámara de absorción (6). Esta cámara está empaquetada con lana de acero y llena con potasa cáustica en solución. El gas forza hacia abajo el nivel de la solución de potasa y se pone en íntimo contacto con las superficies humedecidas de la lana de acero, lo que origina la absorción completa del CO_2 componente de la muestra medida de gas.

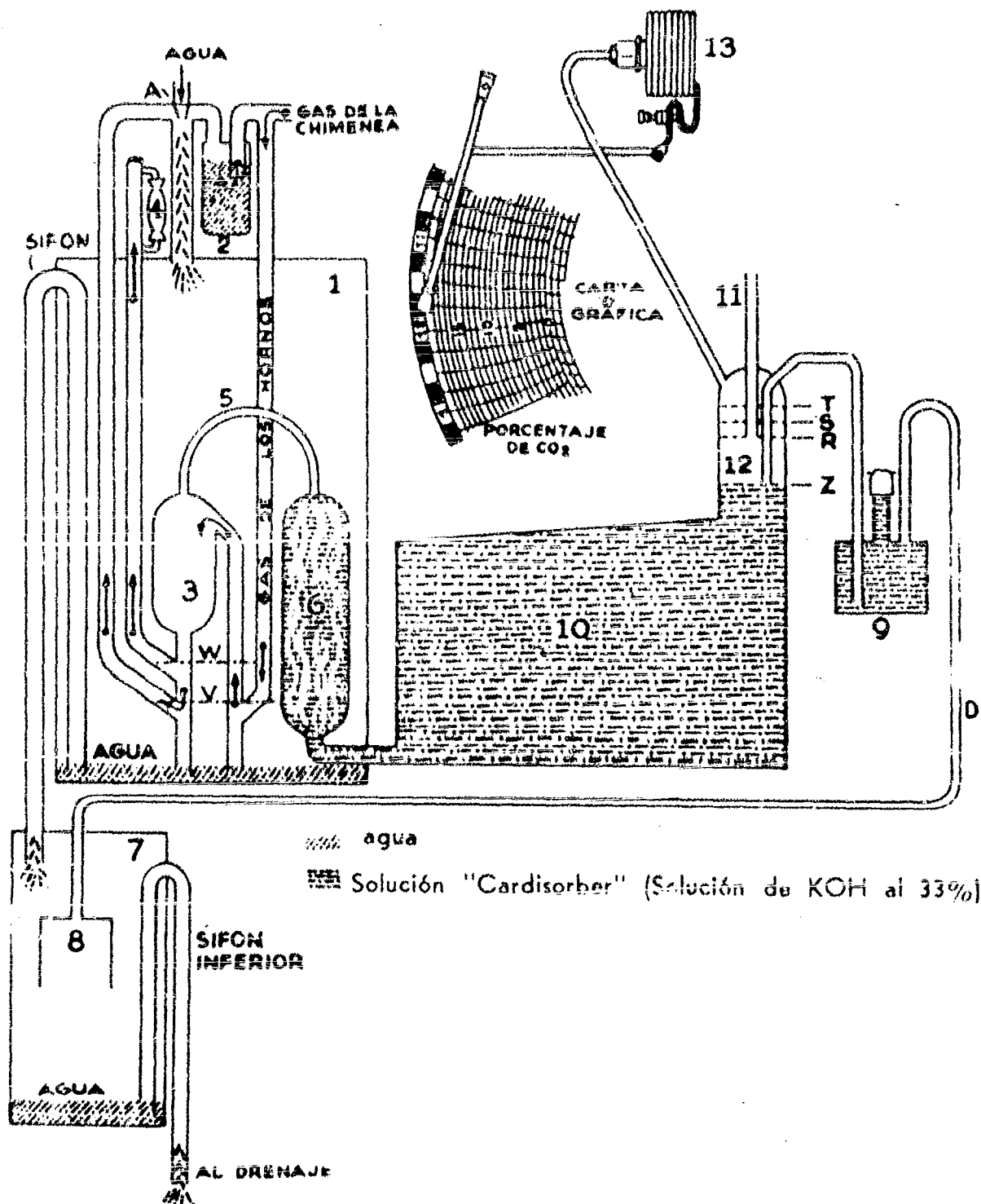
Algo de la potasa cáustica es desalojada de la cámara de absorción (6) pasando al Tanque Principal de Aprovisionamiento de KOH (contiene aprovisionamiento suficiente para 6 a 8 meses de trabajo) (10), causando que el nivel "Z" se eleve en la cámara de compresión (12). Cuando se alcanza el nivel "R", el tubo calibrador (11) es obturado, y cualquier nuevo aumento de nivel forza al aire encerrado al fuelle (13). La expansión del fuelle origina que la pluma se mueva hacia el centro de la carta o gráfica. El movimiento de la pluma sobre la gráfica es proporcional a la elevación del nivel de la solución de KOH en la cámara de compresión y ésta a su vez depende completamente de la cantidad de gas que quedó en la cámara de absorción (6) después de que fué absorbido el CO_2 .

Para este tiempo el agua ha llenado el depósito regulador (1) haciendo funcionar al sifón, que lo vacía, permitiendo que la porción no absorbida de la muestra de gas sea obligada a regresar a la cámara de medición (3), preparándose a repetir el ciclo. Una corriente fresca del gas de la chimenea fluye por la cámara de medición por cerca de uno y medio minutos antes de que el agua alcance nuevamente el nivel "V". En esta forma todo residuo de la muestra anterior es eliminado antes de que sea atrapada una nueva.

NIVELACION AUTOMATICA.—Luego que el agua del depósito regular (1) se sifona vaciándolo, cae a la cámara inferior (7). Esto crea una presión en la campana de presión (8) obligando a pasar a algo de la solución de KOH del Tanque Extra de Aproveccionamiento de KOH (9), por medio del tubo "D" al cilindro o cámara de compresión (12). Cuando el agua alcanza el tope de la cámara inferior (7) se inicia su propio sifón y es descargada al drenaje. Esto anula la presión en la campana (8) originando que el exceso de solución cáustica sobre el nivel "Z" en el cilindro de compresión sea sifoneado nuevamente al tanque de Aproveccionamiento Extra (9). Esta acción de nivelación automáticamente trae a la solución cáustica al nivel "Z" después de cada análisis, eliminando la necesidad de atención manual y asegurando una positiva precisión.

El Medidor de Combustión "HAYS" es en realidad un Orsat automático. Hace automática y continuamente lo que un Químico experimentado del Departamento de Calderas haría con un Orsat de mano. Pero distinto del Orsat manual que puede hacer mejor, pero pruebas de "luger", el Medidor de Combustión "HAYS" hace y registra un análisis cada 1.9 minutos, de manera que se proporciona una imagen continua de las condiciones existentes en el hogar y la caldera.

Estudiando el dibujo esquemático adjunto del Medidor de Combustión "HAYS" se observará que la sección de la carta o gráfica reproducida en el esquema muestra el registro en línea radial (la pluma inscriptora se muestra esquemáticamente; el depósito de tinta y su conducto han sido omitidos). La carta usada por el aparato es proporcionada por la Compañía "The Hays Corporation". Lleva en el centro el número y la fecha, encontrándose dividida en dos mitades correspondiendo cada mitad a 12 horas de funcionamiento del aparato, de las 6 a.m. a las 5 p.m., y de las 6 p.m. a las 5 a.m. Los porcentajes de CO_2 van colocados en la dirección de los radios en progresión creciente, desde 0, 2, 4, 6,, 18, 20%.



Esquema del Medidor de Combustión "HAYS".

EXPLICACION DEL ESQUEMA DEL MEDIDOR DE COMBUSTION
"HAYS"

- 1 Depósito regulador
 - 2 Frasco borboteador o botella de burbujeo
 - 3 Cámara de medición (Bureta de medición)
 - 4 Bolsa atmosférica
 - 5 Tubo capilar
 - 6 Cámara de absorción
 - 7 Cámara inferior
 - 8 Campana de presión
 - 9 Tanque extra de aprovisionamiento de KOH
 - 10 Tanque principal de aprovisionamiento de KOH (contiene abastecimiento para 6 a 8 meses de funcionamiento).
 - 11 Tubo calibrador
 - 12 Cámara o cilindro de compresión.
 - 13 Fuelle
 - 14 Plumilla registradora
- "A" Aspirador
-

Finalmente, por lo que respecta al ANALIZADOR DE LOS GASES DE LA COMBUSTION "HAYS" (ORSAT) nos limitaremos a indicar que es un aparato portátil cuyo funcionamiento, al igual que el anterior, está basado en el principio de Orsat, únicamente que en este caso son tres los gases que se analizan: CO_2 , CO y O_2 y por consiguiente serán tres los medios de absorción:

- a) Solución de "CARDISORBER" (Solución de KOH al 33%) para absorber el bióxido de carbono (CO_2) de la mezcla gaseosa.
- b) Solución de ZEEZO₂ (que es una fórmula patentada) para la absorción del oxígeno (O_2).
- c) Solución de cloruro cuproso para absorber el monóxido de carbono (CO).

No está por demás recordar, que un alto porcentaje de bióxido de carbono (CO_2) significa poco exceso de aire y en consecuencia pérdidas pequeñas de calor por la chimenea; que la presencia de monóxido de carbono (CO) revela una combustión incompleta y finalmente, que la medición del contenido de oxígeno (O) en la muestra de gas se usa principalmente como una comprobación de la exactitud del análisis.

Hay instrucciones amplias para el manejo del Aparato de Orsat, que es relativamente complicado, por lo que debe ser hecho preferentemente por los Químicos de la Casa de Calderas. Siendo obligación de estos el control de los gases de los hornos por medio del Medidor de Combustión "HAYS", tienen la obligación de reportar inmediatamente al Departamento de Ingenieros y al Jefe de Turno cualquier alteración que afecte sensiblemente las condiciones necesarias para una combustión eficiente. Recordemos que los hornos de las calderas de la Fábrica de Azúcar queman bagazo principalmente y se controlan por manejo manual. La caldera de la Fábrica de Alcohol quema petróleo y carece de Medidor de Combustión "HAYS", por lo que el control de sus gases de combustión se hace periódicamente con el ANALIZADOR DE GASES DE ORSAT.

CAPITULO XI

"AZUCAR EN LAS AGUAS DE ALIMENTACION DE CALDERAS"

En el Capítulo V de esta tesis, al tratar lo relativo a la corrosión se citó como a una de sus causas a la contaminación de las aguas de caldera por azúcares procedentes de los jugos y meladuras. En efecto, pueden existir infiltraciones de líquidos azucarados debido a diversas causas: uniones defectuosas, defectos de las superficies de calefacción, empaquetaduras gastadas, falsas vías (como la contaminación más seria de las aguas de condensados de la Fábrica de Azúcar ocurrida entre los días 6 al 17 de enero de 1945 debido al descuido de alguno de los obreros que dejó abierta una válvula de comunicación del Tanque de Agua Dulce del Departamento de Autofiltros con el Tanque de Condensación de 3 libras. Fué necesario hacer la revisión minuciosa de la mayor parte del equipo de la Refinería: tuberías, bombas, calentadores de guarapo y de azúcar fundido, evaporadores, tachos, autofiltros, tanques mezcladores, tanque de agua dulce, etc., para poder encontrar el defecto y corregirlo. Tuvieron que arrojarse al drenaje grandes cantidades de aguas contaminadas con el resultado de grandes pérdidas de vapor y de calor, así como descensos súbitos de la presión de trabajo de las calderas por los purgados considerables, etc. Representó una pérdida considerable en tiempo y dinero para el Ingenio.)

Recordemos que la corrosión es el deterioro (o disolución) de los metales por reacción química. En efecto, al mezclarse las aguas de condensados contaminadas, con agua cruda, la sacarosa sufre en el interior de las calderas una hidrólisis por la acción de las altas temperaturas allí reinantes desdoblándose en d-glucosa y levulosa, de acuerdo con la reacción siguiente:



Prosigue la descomposición, formándose diversos productos de reacción ácida, entre ellos el ácido levúlico, ácido fórmico, ácido acético, ácidos húmicos, compuestos húmicos insolubles, cuerpos de núcleo furánico (como el furfurano-alfa . metilal-alfa . metilol o formil . 2 . metilol . 5-furano o metilal . 2 . metilol . 5-furano derivado de las ceto-hexosas y el furfurano-alfa . metilal o formil . 2-furano o furfurano-metilal . 2 derivado de las pentosas), cuerpos de núcleo piránico así como sus productos de oxidación, etc. Las sustancias denominadas "HUMUS" son insolubles; su contenido en carbono es elevado ($C = 62$ a 67% ; $H = 3.5$ a 4.5%). Aunque se les han asignado diversas fórmulas de estructura no se conoce exactamente su verdadera constitución; se sabe que se forman por la acción de los ácidos, principalmente minerales sobre los azúcares. Están formados por las sustancias llamadas "HUMINA", "ULMINA" así como por los ácidos úlmico y húmico. Su coloración varía dependiendo de la clase de azúcar, de la concentración del ácido empleado y parcialmente de la temperatura de la reacción. Además de los cuerpos húmicos se forma cierto número de productos solubles y volátiles, arriba citados. Entre los no citados podríamos mencionar al metil-furfural y a productos de condensación o de inversión semejantes a dextrinas de elevado poder rotatorio.

Las aguas cocidas en estas condiciones son de reacción muy ácida y en consecuencia altamente corrosivas, son de coloración muy oscura, turbias y con gran cantidad de espuma, lo que hace irreportables los conceptos de dureza (H), alcalinidad total (M), alcalinidad a la fenoltaleína (P) y cloruros (Cl). La dureza es muy alta en esta clase de aguas, y a esta condición se la designa bajo la denominación especial de "falsa dureza" ya que es una dureza que no proviene del agua cruda utilizada para la alimentación de las calderas. Siendo de reacción ácida es lógico que sean nulas las alcalinidades M y P (los pH bajaron durante el lapso antes citado hasta $pH = 5.0$) y aun la presencia de huellas de sacarosa en las aguas de alimentación dan lugar a alcalinidades bajas y a dificultad en los análisis de rutina. Los cloruros no pueden determinarse por no ser posible observar el viraje del indicador K_2CrO_4 por la coloración de las aguas. Además, la cantidad de sólidos disueltos (S.D.) aumenta considerablemente, cuya consecuencia inmediata será el espumaje y el "disparo" o "golpe inicial del agua".

Cuando la contaminación de sacarosa en las aguas de condensados es considerable, ocurre lo que en términos azucareros se llama: "olor a azúcar", que es un olor característico y muy intenso debido al

arrastre de azúcar por el vapor. Es la primera señal de alarma para la localización y corrección del defecto.

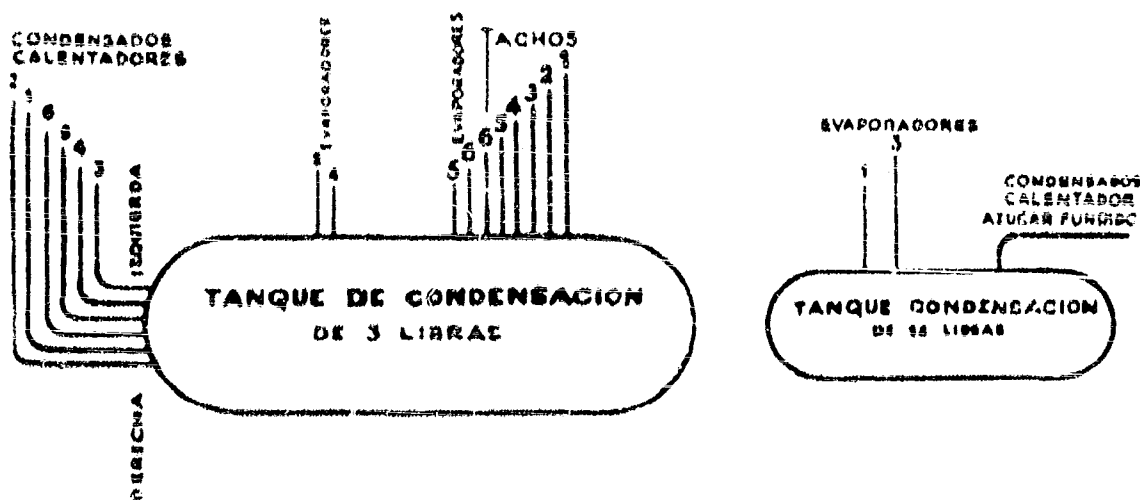
La presencia de cantidades apreciables de azúcar en las aguas cocidas les imparte una coloración muy oscura debido a la materia orgánica carbonizada.

En realidad, dadas las condiciones de trabajo existentes en un Ingenio Azucarero, es MUY DIFÍCIL evitar de una manera absoluta la presencia de huellas de sacarosa en las aguas de condensación, pues ya sea por infiltraciones, ya por arrastres en los vapores de jugos y meladuras, ya por defectos de las superficies de calefacción, pudiera encontrarse sacarosa en las aguas de alimentación. Por tal razón, una de las obligaciones de los Químicos de la Casa de Calderas será el control adecuado de estas aguas por medios químicos que se describirán más adelante y que están fundados en las reacciones de coloración entre los productos de la hidrólisis de los azúcares al ser tratados con diferentes fenoles en presencia de ácidos clorhídrico o sulfúrico concentrados.

Los muestreos se verificarán de preferencia a mañana y tarde, aunque por regla general en el Ingenio los practicábamos diariamente a eso de las 17 horas, salvo en los casos de contaminaciones intensas en que se hacían con mayor frecuencia. Se deben muestrear, —para el caso especial del Ingenio de Zacatepec— las siguientes partes: bomba de alimentación de agua, Tanque de Almacenamiento de Agua Caliente, Tanque de Agua de Alimentación de Calderas, Tanque de Condensación de 3 libras, Tanque de Condensación de 15 libras. Estos, a su vez, reciben el agua de retorno de condensados de las partes siguientes:

TANQUE DE CONDENSACION DE 3 LIBRAS	{ Condensados de Calentadores: I, II, III, IV, V, VI. Condensados de Evaporadores: II, IV, V, VI. Condensados de Tachos: I, II, III, IV, V, VI.
TANQUE DE CONDENSACION DE 15 LIBRAS	{ Condensados de Evaporadores: I, III. Condensados del Calentador-de Azúcar Fundido.

En el esquema adjunto, puede verse la disposición de los tubos de llegada de los condensados del tanque grande de 3 libras y del tanque chico de 15 libras. Existen unos pequeños tubos (no indicados en la figura) de unos $\frac{3}{4}$ " provistos de una llavecita en su extremo inferior y que arrancan de cada tubo de llegada de los condensados, con los cuales se puede muestróar separadamente el agua que retornan. Análogo dispositivo encontramos en la bomba de alimentación, Tanque de Almacenamiento de Agua Caliente, etc. Los tubos de muestreo van numerados y con el nombre del aparato de donde provienen para evitar confusiones.



Esquema de los Tanques de Condensación de 3 y 15 libras, donde puede apreciarse la disposición de los tubos de llegada de los condensados de retorno, con el nombre y número del aparato de que provienen, para muestróar separadamente las aguas de condensación e investigar su posible contaminación con sacarosa.

"REACCIONES COLOREADAS DE AZUCARES CON FENOLES"

Ya se indicó cómo se obtienen. El desarrollo de color en este caso se debe a la formación de productos de condensación entre los derivados del fenol y los productos de descomposición obtenidos del azúcar, particularmente furfural y sus derivados. Entre los más importantes compuestos fenólicos usados para practicar las reacciones de color con los azúcares, pueden citarse el alfa-naftol, timol, resorcinol, orcinol, nafto-resorcinol, floroglucinol, cresol y lisol. Un típico ejemplo de los

productos de la condensación entre el furfural o formil. 2-furano con los fenoles es el di-alfa-naftolfurilmetano, $C_{23}H_{18}O_3$, que fué obtenido por Broderick del alfa-naftol y el furfural. Es incoloro, pero se disuelve en ácido sulfúrico concentrado, H_2SO_4 , con un color violeta obscuro.

El ensayo con el alfa-naftol es muy sensible. Para verificar la prueba (es tal vez la más empleada) se toma un tubo de ensayo bien limpio y se enjuaga dos veces con el agua por ensayar. Se ponen unos 2 cc. del agua sospechosa, se agregan 5 gotas de solución alcohólica al 5% de alfa-naftol ó 1 a 2 gotas si la solución es al 10 ó 20%; se agita bien y se añaden unos cc. de H_2SO_4 conc. y q.p., cuidadosamente, haciéndolo escurrir por las paredes del tubo de ensayo hasta el fondo. En presencia de sacarosa se formará inmediatamente en la zona de separación de ambos líquidos un anillo color violeta más o menos intenso, dependiendo de la cantidad de azúcar disuelta. Sensibilidad de la reacción: 1 X 1,000,000. Si la cantidad de azúcar es de una parte por 10,000 de agua, se producirá un anillo muy obscuro debido a la carbonización del glúcido por el H_2SO_4 . Tratándose de cetosas (azúcares conteniendo un grupo cetónico) la aparición del anillo violeta es instantánea; en presencia de aldosas (Glúcidos con un agrupamiento aldehídico) es necesario un calentamiento suave para alcanzar el máximo de intensidad de color del anillo violeta.

La solución de alfa-naftol debe ser fresca y guardarse en frascos oscuros.

Se han ideado varios aparatos para facilitar la reacción con el alfa-naftol, de los cuales el más usado en la industria azucarera es el de Spencer, pero por ser frágil y costoso es más práctico el método del tubo de ensayo, pues la mayor parte de las veces la prueba se hace en el interior mismo de la Fábrica junto a los Tanques de Condensados y no en el Laboratorio.

Huelga decir, que las aguas contaminadas con cantidades apreciables de azúcar deben ser arrojadas al drenaje.

Si en lugar del alfa-naftol usásemos para la reacción el timol, mentol, resorcinol u otros fenoles, se producirían coloraciones similares en que los tintes variarían del rojo cereza al púrpura obscuro.

Algunos químicos azucareros prefieren el lisol o el cresol al alfa-naftol por conservarse mejor, aunque no son tan sensibles como el reactivo último. El lisol se diluye con 5 partes de agua destilada y se hace la prueba como la del alfa-naftol. El reactivo de cresol se prepara, según Stevens, disolviendo 5 g. de jabón de Castilla en 100 cc. de

agua y mezclándolos con 15 cc. de cresol. La muestra se calienta y se agita hasta homogeneizar, adicionando más jabón si es necesario. El agua por analizar se vierte en un tubo de ensayo enjuagado previamente con ella a lo menos dos veces. Se ponen 2 ó 3 cc. de la muestra enfriada, se agregan 5 a 10 gotas del reactivo de cresol y se mezclan bien con el agua. Se agregan unos 2 cc. de H_2SO_4 q.p. y concentrado, estratificando. En presencia de 0.0001% de azúcar se formará un anillo rosado claro en una a dos horas; con 0.001% el anillo rosado aparecerá casi inmediatamente y aumentando las concentraciones el color producido será del rojo al rojizo oscuro. Las impurezas, como hierro o sales de calcio que interfieren la prueba con el alfa-naftol, no tienen efecto.

Las reacciones con fenoles y ácido clorhídrico, HCl, concentrado y q.p. se hacen generalmente calentando unos cc. del agua problema con la solución del fenci (resorcinol, orcinol, floroglucinol, etc.), con el ácido; las coloraciones obtenidas son muy brillantes, variando su tono del rojo brillante al violeta azulado. No son permanentes sino que se oscurecen rápidamente y la solución transparente coloreada se enturbia por precipitación de productos de condensación de color oscuro.

El ácido acético glacial puede usarse también en lugar del HCl para disolver los fenoles empleados en estas pruebas.

De menos importancia que las reacciones coloreadas con los fenoles son las pruebas de color obtenidas tratando las soluciones azucaradas con aminas aromáticas (anilina, xilidina, difenilamina, etc.) en presencia de HCl conc. y q.p. Los colores en este caso se deben a la combinación entre la amina aromática y el furfural, metil-furfural y el hidroximetil-furfural derivados de la descomposición del azúcar.

Si calentamos 1 cc. del agua azucarada por 10 minutos en un B.M. hirviendo con 9 cc. de una solución de H_2SO_4 de 77% y con 0.3 cc. de solución de indol en alcohol al 1%, se formará una coloración intensiva café.

La urea y la guanidina con H_2SO_4 dan también reacciones coloreadas características con los azúcares.

METODO DE MATTHEWS PARA LA IDENTIFICACION DE VESTIGIOS DE AZUCAR EN LAS AGUAS DE CALDERAS.—En un tubo de ensayo previamente enjuagado dos veces con el agua por analizar,

se ponen 5 cc. de ésta; se agregan 3 gotas de HCl conc. y q.p. y 3 cc. de una solución de molibdato de amonio al 4%. Se agita bien y se sumerge el tubo en un B.M. hirviendo por 6 minutos exactos. En presencia de azúcar se producirá una coloración azul que no es permanente. Sensibilidad de la reacción: 1 pte. azúcar en 500,000 de agua.

Podemos por último, mencionar un moderno "METODO PARA LA DETECCION DE SACAROSA POR EL NITRATO DE COBALTO EN MEDIO ALCALINO" publicado en el Agricultural Analysis por H. W. Wiley, y que consiste en agregar a unos 15 cc. del agua por analizar colocados en un tubo de ensayo previamente enjuagado con el agua sospechosa, unos 5 cc. de una solución diluída de nitrato de cobalto; mezclar bien ambas soluciones y agregar 2 cc. de solución de NaOH al 50%. La sacarosa pura produce una coloración permanente violeta amatista; la d-glucosa (también conocida por dextrosa) da un color azul turquesa que vira al verde claro rápidamente. En una mezcla de ambos glúcidos, predomina la coloración producida por la sacarosa, pudiéndose distinguir 1 parte de ésta en 9 partes de d-glucosa.

CAPITULO XII

PROMEDIOS DIARIOS Y PROMEDIOS FINALES DE LOS REPORTES DE LA CASA DE CALDERAS

NOTA -- Los Promedios Diarios y Finales de los reportes analíticos de las aguas de calderas van al final de este trabajo después de la Bibliografía.

BIBLIOGRAFIA

- "BOILER FEED WATER TREATMENTS" by F. J. Matthews. Chemical Publishing Co. Inc. 2 nd Edition: July 1939, London. Hutchinson's Scientific & Technical Publications.
- "BOILER FEED AND BOILER WATER SOFTENING" by H. K. Blanning and A. D. Rich. Third Edition. 1942. Chicago. Nickerson & Collins Co.
- "TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA ALIMENTACION DE CALDERAS" por J. A. Holmes (Publicado en National Engineer, bajo la dirección del Departamento Educativo, División de Ingeniería de Vapor. de la N.A.P.S.)
- "TRATADO DE QUIMICA ANALITICA", tomos I y II (Análisis Cualitativo y Análisis Cuantitativo) por el Dr. F. P. Treadwell. 5a. Edición. 1943. Barcelona. Manuel Marín, Editor.
- "STANDARD METHODS OF CHEMICAL ANALYSIS", tomos I y II. By Wilfred W. Scott, Sc. D. Fifth Edition. 1944. New York. D. Van Nostrand Company, Inc.
- "PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF SUGAR ANALYSIS" by C. A. Browne, Ph. D. and F. W. Zerban, Ph. D. Third Edition. 1941. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- "MANUAL DE FABRICANTES DE AZUCAR DE CAÑA Y QUIMICOS AZUCAREROS" por Guilford L. Spencer, D. Sc. y George P. Mead, B. Sc., Ch. E. y Constantino J. Bourbakis. 7a. Edición. 1932. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- "THE HAYS COMBUSTION METER".
- "TEXT BOOK OF MINERALOGY WITH AN EXTENDED TREATISE ON CRISTALLOGRAPHY AN PHYSICAL MINERALOGY" by Edward Salisbury Dana & William E. Ford. Fourth Edition. 1932. New York. John Wiley & Sons, Inc.

"PROMEDIOS DIARIOS DE LOS REPORTES DE LA CASA DE CALDERAS".

Ingenio Central Ejidal "EMILIANO ZAPATA".

ZACATEPEC, MOR.

ZAFRA 1944-1945

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	PH	H	M	P	CI
<u>DESINCORUSTANTE "RENAULT".</u>								
1944.-	Diciembre	21	I	8.15	6.55	7.00	1.752	6.825
		22		9.43	10.63	7.79	5.064	5.663
		23		8.46	17.80	4.32	1.286	2.986
		24		9.07	10.05	3.792	1.605	1.345
		27		9.5	7.00	3.503	1.556	1.516
		28		9.8	5.42	4.467	2.102	0.912
		29		9.46	6.74	2.277	1.461	0.744
		30		9.76	6.06	4.848	3.646	0.828
		31		10.07	4.175	6.256	4.233	0.93
1945.-	Enero	9	I	9.27	4.325	-----	2.915	3.73
		10		9.35	3.566	-----	3.357	1.83
		11		8.92	3.26	2.63	1.927	0.91
<u>DESINCORUSTANTE "NALCO".</u>								
1945.-	Enero	11	I	10.0	2.5	4.67	2.92	0.83
		12		9.76	2.616	3.454	2.335	0.83
		13		9.45	3.45	3.153	1.946	1.00
		14		6.98	14.7	0	0.292	1.656
		15		5.8	muy alta.	0	0	-----
		16		6.17	24.73	0	0	2.183
		17		8.63	15.58	-----	0.8535	4.655
		18		9.43	5.54	1.984	1.461	2.528
		19		9.0	2.95	1.824	1.0925	1.50
		20		8.1	3.2	2.336	0.29	1.866
		21		10.2	2.4	5.646	4.28	1.45
		22		10.25	2.3	9.695	6.715	1.45
		23		7.43	14.46	-----	-----	1.59
		24		7.36	5.986	-----	-----	1.79
		25		6.46	4.6	0	0	1.656
		26		6.33	6.26	0	0	2.07
		27		6.36	4.86	0	0	1.62
		28		8.73	1.1	1.75	1.266	1.66
		29		9.5	1.5	8.465	6.135	2.49
		30		9.85	1.55	5.40	3.94	2.28
		31		8.4	1.13	2.92	0.68	2.346

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	pH	H	M	P	Cl
1945.-	Febrero	1	I	6.8	1.78	0	0	2.83
		2		7.46	0.763	-----	-----	2.346
		3		7.66	1.0	-----	0.58	2.346
		4		8.26	0.46	7.88	3.89	2.626
		5		7.5	1.7	-----	0.58	1.97
		6		8.0	0.73	2.92	1.46	1.31
		7		8.43	0.63	-----	0.483	1.38
		8		9.1	0.4	5.353	3.306	1.52
		9		9.06	0.33	8.32	3.793	1.52
		10		8.76	0.7	4.09	2.626	1.38
		11		9.16	1.53	5.256	3.31	1.45
		12		9.96	0.86	8.763	6.226	1.59
		13		9.13	0.516	4.573	3.300	1.796
		14		8.86	0.53	3.21	1.946	1.66
		15		9.3	0.43	4.866	3.116	1.93
		16		9.36	0.13	5.646	3.89	1.66
		17		9.3	0.566	6.126	4.186	1.586
		18		8.3	10.6	3.50	1.75	1.66
		20		9.66	2.566	7.006	4.963	2.486
		21		10.26	1.0	11.29	8.27	2.21
		22		10.36	0.43	12.85	9.44	1.79
		23		10.95	0.05	12.99	10.945	1.865
		24		9.83	0.766	8.76	5.84	1.65
		25		10.46	0.83	11.58	8.176	1.24
		26		10.9	0.55	16.355	11.535	1.765
		27		9.65	0.566	10.996	7.783	1.24
		28		10.16	0.5	7.595	5.985	1.245

DESINCrustANTE "RENAULT".

1944.-	Diciembre	22	II	8.5	5.73	3.6986	3.797	3.176
		23		8.56	16.7	4.321	1.459	2.156
		24		9.15	7.2	4.0895	2.045	1.24
		27		9.56	5.8	3.893	1.755	1.10
		28		9.7	5.62	4.164	1.987	0.828
		29		9.44	8.12	2.16	1.461	0.618
		30		9.71	5.28	4.0876	3.062	0.744
		31		9.92	4.00	5.11	3.7975	0.725
1945.-	Enero	3	II	9.25	4.675	3.651	2.4835	0.725
		4		10.3	3.72	9.52	7.0076	0.91
		5		8.75	4.52	3.869	2.434	0.758
		6		7.56	5.06	-----	2.5306	0.62
		7		9.1	6.83	-----	1.8626	1.59

DESINCrustANTE "MILCO".

1945.-	Enero	15	II	5.46	-----	0	0	1.865
		16		7.1	15.13	2.044	1.168	1.726
		17		9.66	5.33	3.21	2.043	3.628
		18		10.43	4.53	4.186	3.406	1.52
		19		9.5	3.26	3.02	1.946	1.24
		20		7.76	3.63	7.59	0	1.38

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	PH	H	M	P	CL
1945.- Enero		21	II	10.33	2.66	6.23	4.573	1.17
		22		8.5	4.0	-----	1.168	1.24
		23		7.43	12.3	-----	-----	1.86
		24		7.6	4.86	-----	-----	1.11
		25		6.5	4.83	0	0	1.656
		26		6.26	7.23	0	0	1.38
		27		5.5	4.0	0	0	0.896
		29		8.3	4.2	-----	0.52	1.24
		30		3.5	2.85	1.75	0.731	0.725
		31		0.56	2.2	0	0	1.246
		1945.- Febrero		1	II	6.62	2.06	0	0	1.246
2				7.66	0.4	1.46	1.17	1.313
3				8.06	0.56	3.21	2.04	1.11
4				9.4	0.3	5.55	4.283	1.036
5				8.2	4.6	-----	-----	0.83
6				7.86	0.46	1.46	0.87	1.106
7				8.13	1.23	2.92	1.02	1.18
8				9.13	0.43	5.253	3.60	1.106
9				9.16	0.266	5.544	3.593	1.106
10				9.03	0.36	5.453	3.893	1.45
11				8.75	0.43	4.67	3.21	1.24
12				9.2	0.6	4.67	3.21	1.04
13				8.96	0.66	5.4	2.726	1.243
14				8.73	0.66	2.335	1.263	0.76
15				9.26	0.33	4.87	3.213	1.38
16				10.3	0.116	9.246	6.23	1.103
17				10.23	0.66	7.783	5.74	1.38
18				8.3	5.4	3.50	1.75	1.24
19		9.2	4.1	4.67	2.92	1.45		
20		9.4	1.93	7.01	5.063	1.93		
21		10.1	0.83	10.32	7.493	1.036		
22		10.66	0.13	14.596	11.68	0.966		
23		10.75	0	20.15	14.895	1.035		
24		9.5	0.8	9.73	6.62	1.036		
25		10.23	0.7	9.83	7.296	0.62		
26		9.7	0.4	7.59	4.67	1.04		
27		10.2	0.5	12.456	8.566	1.243		
28		10.20	0.53	10.513	7.983	1.106		

DESINCrustANTE "RENAULT".

1944.- Diciembre		22	III	8.6	4.8	6.03	3.5046	2.623
		23		8.46	15.41	4.672	1.460	2.238
		24		9.52	7.4	3.65	1.4605	1.1375
		27		9.63	5.13	4.477	2.144	1.103
		28		9.82	5.54	4.556	2.225	0.746
		29		10.0	6.25	1.46	1.022	0.61
1945.- Enero		30		9.1	7.2	0.876	0.584	0.41
		3	III	9.2	4.9	1.241	2.1175	0.07
		4		10.4	3.84	7.2006	6.132	0.826

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	PH	H	M	P	Cl
1945.-	Enero	5	III	9.13	4.88	5.33	3.505	0.862
		6		7.7	5.66	-----	2.263	1.348
		7		7.14	8.13	-----	1.168	2.49
		9		8.1	12.10	-----	1.168	3.796
		10		8.7	3.73	-----	5.835	1.76
		11		3.0	3.20	-----	0.730	0.828

DESINCrustANTE "NALCO".

1945.-	Enero	11	III	3.0	2.4	1.75	1.17	0.83
		12		3.23	2.45	2.045	1.265	0.828
		13		3.86	3.28	2.616	1.458	0.83
		14		5.9	12.37	0	0	1.326
		15		5.53	-----	0	0	-----
		18		3.9	3.9	3.505	2.775	1.035
		19		9.25	3.67	2.752	1.5325	1.4525
		20		7.5	4.9	8.18	0	3.73
		22		7.75	8.0	5.26	3.79	2.175
		23		5.5	15.4	0	0	1.65
		24		7.4	5.16	-----	-----	1.38
		25		6.5	4.8	0	0	1.93
		26		6.0	3.46	0	0	1.796
		27		5.3	4.4	0	0	1.103
		28		8.9	0.6	4.23	2.14	0.97
		29		9.0	0.3	5.20	3.51	1.24
		30		5.63	2.45	4.67	3.50	1.035
		31		7.0	1.06	0	0	1.656
1945.-	Febrero	1	III	6.56	1.33	0	0	1.796
		2		7.96	0.4	3.50	2.24	1.656
		3		8.36	0.33	3.21	1.75	1.59
		4		9.16	0.23	5.405	2.823	1.313
		5		6.96	3.22	0	0	1.726
		6		7.83	0.4	-----	0.725	1.313
		7		8.2	0.93	1.46	0.58	1.38
		8		9.35	0.45	5.40	3.355	1.14
		9		10.23	0.16	9.73	6.813	1.93
		10		9.93	0.26	8.66	6.23	2.073
		11		10.3	0.13	28.953	6.743	2.07
		12		10.7	0.8	12.70	8.905	1.76
		13		9.73	0.46	6.03	4.38	1.52
		14		9.1	0.42	3.99	2.626	1.313
		15		9.33	0.4	5.546	3.70	1.656
		16		10.2	0.06	9.536	6.813	1.866
		17		10.5	0.2	10.123	7.203	1.866
		18		8.5	6.1	5.84	2.92	2.07
		20		9.76	2.33	8.76	6.036	2.21
		21		10.66	0.46	14.21	10.413	1.926
		22		10.83	0	15.186	11.886	1.243
		23		10.6	0	13.87	11.68	1.245
		24		9.7	0.66	8.663	5.936	1.173

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	PH	H	M	P	Cl
1945.-	Febrero	25	III	10.4	0.6	11.29	7.883	1.243
		26		9.7	1.1	7.59	4.67	0.41
		27		9.63	0.66	7.30	4.966	1.383
		28		10.33	0.56	10.133	7.203	1.586

DESINCORUSTANTE "RENAULT".

1944.-	Diciembre	29	IV	8.9	5.75	2.189	1.31	1.035
		30		9.63	4.12	4.146	3.038	0.826
		31		9.83	4.03	5.061	3.6986	0.966
1945.-	Enero	3	IV	9.57	4.82	3.796	2.7015	0.93
		4		10.2	3.66	9.287	8.059	1.202
		5		9.83	5.22	8.76	6.132	1.208
		6		8.2	5.70	-----	3.309	1.24
		7		8.86	8.33	-----	1.265	2.28
		9		7.7	13.45	-----	0.877	2.90
		10		8.58	3.75	-----	0.875	2.45
		11		8.2	3.28	-----	0.7295	1.41

DESINCORUSTANTE "NALCO".

1945.-	Enero	11	IV	10.0	2.1	2.34	1.47	1.66
		12		9.51	2.33	2.628	1.606	1.001
		13		8.98	2.98	2.335	1.624	1.001
		14		5.85	5.86	0	0	1.698
		16		6.02	19.46	0	0	2.35
		17		9.58	6.06	2.48	2.045	5.833
		18		10.04	3.78	2.568	1.636	1.988
		19		10.0	3.3	2.63	1.75	1.66
		20		7.7	3.4	-----	-----	1.66
		21		10.5	2.3	5.55	4.09	1.865
		22		7.72	13.7	4.96	3.50	2.426
		23		5.83	17.43	0	0	1.726
		24		7.0	6.2	0	0	1.93
		25		6.66	4.63	0	0	1.913
		26		6.1	9.23	0	0	2.35
		27		6.1	4.26	0	0	1.38
		28		8.96	0.46	4.38	2.82	1.24
		30		8.35	2.25	5.26	2.92	0.825
		31		7.1	1.43	0	0	1.036
1945.-	Febrero	1	IV	6.63	1.15	0	0	1.38
		2		7.73	0.33	2.63	1.46	1.52
		3		8.3	0.4	4.09	2.34	1.656
		4		9.2	0.16	5.353	3.406	1.176
		5		7.96	2.0	3.50	1.315	1.173
		6		7.86	0.4	1.46	0.87	1.313
		7		8.16	0.93	2.63	1.02	1.66
		8		8.93	0.566	5.55	3.486	1.716

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	pH	H	M	P	Cl
1945.-	Febrero	9	IV	9.7	0.23	7.493	4.963	1.796
		10		9.3	0.4	6.23	4.283	1.52
		11		10.06	0.43	8.37	6.133	1.93
		12		10.86	0.566	12.066	8.37	1.66
		13		9.96	0.5	8.076	5.74	1.726
		14		9.03	0.66	3.60	2.626	0.90
		15		9.46	0.33	5.253	3.70	1.656
		16		9.86	0.5	7.686	5.55	1.656
		17		10.3	0.466	9.536	7.10	2.21
		18		9.05	4.55	6.275	4.235	2.385
		19		11.0	0.5	14.60	11.68	4.97
		20		11.0	0.95	22.485	15.475	2.695
		21		11.0	0.25	24.623	20.05	2.486
		22		11.3	0.13	23.75	17.906	1.001
		23		11.25	0.05	24.67	19.71	1.865
		24		10.8	0.53	17.52	12.063	1.726
		25		9.7	0.8	7.98	4.67	0.83
		26		9.0	0.9	-----	3.50	0.83
		27		10.23	0.76	10.90	8.176	1.516
		28		10.36	0.6	10.123	7.01	1.516

"CALDERA DE LA FABRICA DE ALCOHOL".

1945.-	Enero	15	8.5	14.1	2.34	0.292	0.62		
		16	9.1	21.95	1.46	0.730	1.04		
		21	10.0	18.63	5.16	3.216	4.42		
		22	9.66	23.63	5.743	3.70	7.183		
		23	9.33	29.43	5.156	3.116	9.073		
		24	9.0	26.90	4.673	2.92	9.116		
		25	8.66	29.23	5.846	3.696	8.98		
		26	8.66	27.16	7.59	4.671	14.363		
		27	9.13	32.76	5.253	3.60	11.876		
		28	9.43	24.03	4.77	3.21	11.463		
		29	9.0	26.25	5.545	3.795	10.15		
		30	9.0	16.32	3.50	1.75	9.53		
		1945.-	Febrero	3	9.06	20.06	4.476	2.92	6.486
				4	9.3	14.18	5.16	3.116	8.77
				5	9.2	11.93	4.963	3.113	6.626
6	9.1			7.4	3.986	2.33	7.18		
7	9.13			10.43	4.673	3.016	6.903		
8	9.7			5.93	9.44	5.646	6.70		
9	10.4			4.66	13.33	7.983	7.873		
10	9.23			10.66	5.78	3.70	6.49		
11	9.0			15.10	4.573	3.113	5.87		
12	9.43			16.65	5.84	3.503	5.043		
13	9.23	9.03	4.863	3.116	4.016				
14	9.36	9.066	5.056	3.31	3.726				
15	9.36	5.83	5.156	3.406	4.35				

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	pH	H	M	P	Cl
<u>"CALDERA DE LA FABRICA DE ALCOHOL".</u>								
1945.-	Febrero	16		9.8	7.60	9.726	7.49	4.693
		17		10.3	2.5	25.89	15.06	4.42
		18		10.5	0.9	33.14	18.105	4.765
		19		10.5	0.6	35.625	23.36	4.765
		20		11.0	0.2	32.183	23.36	3.383
		21		9.73	2.5	10.903	7.01	3.59
		22		10.3	3.83	24.236	16.843	3.936
		23		10.75	0.55	16.35	11.10	3.42
		24		10.16	4.76	34.269	20.146	2.21
		25		9.73	2.36	9.926	5.84	2.073
		26		8.7	11.6	1.75	1.75	1.66
		27		11.0	0	24.53	18.69	1.66

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERAS.	SOLIDOS TOTALES.		
<u>DESINCRUSTANTE "RENAULT".</u>						
1944.-	Diciembre	22	I, II, III	86.98 g.p.g.	= 1.492	gramos por litro.
		23		73.22 g.p.g.	= 1.256	" " "
		24		51.65 g.p.g.	= 0.886	" " "
		27		43.14 g.p.g.	= 0.740	" " "
		28		48.92 g.p.g.	= 0.852	" " "
		29	I, II, III, IV	31.13 g.p.g.	= 0.534	" " "
		30	I, II, IV	37.60 g.p.g.	= 0.645	" " "
		31		41.63 g.p.g.	= 0.714	" " "
1945.-	Enero	3	II, III, IV	37.78 g.p.g.	= 0.648	" " "
		4		45.82 g.p.g.	= 0.786	" " "
		5		39.76 g.p.g.	= 0.682	" " "
		6		45.94 g.p.g.	= 0.788	" " "
		7		72.66 g.p.g.	= 1.246	" " "
		9	I, III, IV	125.345 g.p.g.	= 2.150	" " "
		10		155.54 g.p.g.	= 2.668	" " "
		11		57.72 g.p.g.	= 0.990	" " "

<u>DESINCRUSTANTE "NALCO".</u>						
1945.-	Enero	12	I, III, IV	65.53 g.p.g.	= 1.124	gramos por litro.
		13		36.43 g.p.g.	= 0.968	" " "
		14		156.71 g.p.g.	= 2.688	" " "
		16	I, II, IV	60.00 g.p.g.	= 1.029	" " "
		17		117.53 g.p.g.	= 2.016	" " "
		18	I, III, IV	121.38 g.p.g.	= 2.082	" " "
		19	I, II, III	86.98 g.p.g.	= 1.492	" " "

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERAS.	SOLIDOS TOTALES.			
1945.- Enero		20	I, II, IV	71.94	g.p.g. =	1.234	gramos por litro.
		22	I, II, III, IV	87.68	g.p.g. =	1.504	" " "
		23		126.28	g.p.g. =	2.136	" " "
		24		74.51	g.p.g. =	1.278	" " "
		25		100.39	g.p.g. =	1.732	" " "
		26		125.40	g.p.g. =	2.1509	" " "
		27		109.25	g.p.g. =	1.8739	" " "
		28		71.36	g.p.g. =	1.224	" " "
		29		79.65	g.p.g. =	1.3662	" " "
		30		86.87	g.p.g. =	1.490	" " "
		31		106.57	g.p.g. =	1.8279	" " "
1945.- Febrero		1	I, II, III, IV	75.91	g.p.g. =	1.302	" " "
		2		87.92	g.p.g. =	1.508	" " "
		3		72.87	g.p.g. =	1.250	" " "
		4		85.23	g.p.g. =	1.462	" " "
		5		121.26	g.p.g. =	2.080	" " "
		6		109.60	g.p.g. =	1.880	" " "
		7		88.73	g.p.g. =	1.522	" " "
		8		83.84	g.p.g. =	1.438	" " "
		9		101.32	g.p.g. =	1.638	" " "
		10		98.99	g.p.g. =	1.698	" " "
		11		142.71	g.p.g. =	2.4478	" " "
		12		139.57	g.p.g. =	2.3932	" " "
		13		159.04	g.p.g. =	2.7279	" " "
		14		107.03	g.p.g. =	1.8358	" " "
		15		84.77	g.p.g. =	1.454	" " "
		16		89.67	g.p.g. =	1.5381	" " "
		17		117.07	g.p.g. =	2.008	" " "
		18		395.86	g.p.g. =	6.790	" " "
		19		158.69	g.p.g. =	2.7219	" " "
		20		209.76	g.p.g. =	3.5979	" " "
		21		163.59	g.p.g. =	2.8060	" " "

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERAS.	SOLIDOS DESINCRUSTANTES.			
DESINCRUSTANTE "RENAULT".							
1944.- Diciembre		22	I, II, III	51.30	g.p.g. =	0.880	gramos por litro.
		23		51.07	g.p.g. =	0.876	" " "
		24		33.11	g.p.g. =	0.568	" " "
		27		24.95	g.p.g. =	0.428	" " "
		28		19.93	g.p.g. =	0.342	" " "
		29	I, II, III, IV	20.405	g.p.g. =	0.350	" " "
		30	I, II, IV	15.04	g.p.g. =	0.258	" " "
		31		39.64	g.p.g. =	0.680	" " "
1945.- Enero		3	II, III, IV	16.32	g.p.g. =	0.280	" " "
		4		34.28	g.p.g. =	0.588	" " "
		5		33.58	g.p.g. =	0.576	" " "

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERAS.	SOLIDOS DISUELTOS.					
1945.- Enero		6	II, III, IV	38.01 g.p.g.	=	0.652	gramos por litro.		
		7		50.25 g.p.g.	=	0.862	" " "		
		9	I, III, IV	98.294 g.p.g.	=	1.686	" " "		
		10		62.96 g.p.g.	=	1.080	" " "		
		11		37.55 g.p.g.	=	0.644	" " "		
<u>DESINCORUSTANTE "NALCO".</u>									
1945.- Enero		12	I, III, IV	47.34 g.p.g.	=	0.812	gramos por litro.		
		13		45.12 g.p.g.	=	0.774	" " "		
		14		138.29 g.p.g.	=	2.372	" " "		
		16	I, II, IV	41.0 g.p.g.	=	0.703	" " "		
		17		70.66 g.p.g.	=	1.212	" " "		
		18	I, III, IV	70.31 g.p.g.	=	1.206	" " "		
		19	I, II, III	68.68 g.p.g.	=	1.178	" " "		
		20	I, II, IV	53.17 g.p.g.	=	0.912	" " "		
		22	I, II, III, IV	75.67 g.p.g.	=	1.298	" " "		
		23		116.37 g.p.g.	=	1.996	" " "		
		24		55.39 g.p.g.	=	0.950	" " "		
		25		89.54 g.p.g.	=	1.536	" " "		
		26		95.75 g.p.g.	=	1.6424	" " "		
		27		95.38 g.p.g.	=	1.636	" " "		
		28		53.40 g.p.g.	=	0.9159	" " "		
		29		48.61 g.p.g.	=	0.8337	" " "		
		30		67.39 g.p.g.	=	1.1559	" " "		
		31		42.21 g.p.g.	=	0.724	" " "		
		1945.- Febrero		1	I, II, III, IV	64.13 g.p.g.	=	1.100	" " "
				2		66.35 g.p.g.	=	1.138	" " "
				3		66.46 g.p.g.	=	1.140	" " "
				4		72.99 g.p.g.	=	1.252	" " "
				5		112.98 g.p.g.	=	1.938	" " "
				6		92.69 g.p.g.	=	1.590	" " "
				7		58.73 g.p.g.	=	1.002	" " "
				8		56.90 g.p.g.	=	0.976	" " "
				9		52.08 g.p.g.	=	0.962	" " "
				10		78.94 g.p.g.	=	1.354	" " "
				11		100.97 g.p.g.	=	1.731	" " "
				12		85.35 g.p.g.	=	1.464	" " "
				13		84.19 g.p.g.	=	1.4441	" " "
14				70.54 g.p.g.	=	1.2099	" " "		
15				70.30 g.p.g.	=	1.206	" " "		
16				71.48 g.p.g.	=	1.2261	" " "		
17				93.75 g.p.g.	=	1.6081	" " "		
18				271.79 g.p.g.	=	4.6619	" " "		
19				60.05 g.p.g.	=	1.030	" " "		
20				93.28 g.p.g.	=	1.600	" " "		
21				75.00 g.p.g.	=	1.2864	" " "		

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	SOLIDOS TOTALES.
<u>"CALDERA DE LA FABRICA DE ALCOHOL".</u>				
1945.-	Enero	16		29.00 g.p.g. = 0.497 gramos por litro.
		21		117.07 g.p.g. = 2.008 " " "
		22		248.71 g.p.g. = 4.266 " " "
		23		295.58 g.p.g. = 5.070 " " "
		24		522.25 g.p.g. = 8.958 " " "
		25		295.50 g.p.g. = 5.069 " " "
		26		375.28 g.p.g. = 6.437 " " "
		27		644.56 g.p.g. = 11.0559 " " "
		28		548.75 g.p.g. = 9.4125 " " "
		29		307.70 g.p.g. = 5.2779 " " "
		30		215.59 g.p.g. = 3.6979 " " "
1945.-	Febrero	3		572.86 g.p.g. = 9.826 " " "
		4		624.15 g.p.g. = 10.706 " " "
		5		701.69 g.p.g. = 12.036 " " "
		6		520.27 g.p.g. = 8.924 " " "
		7		458.47 g.p.g. = 7.864 " " "
		8		578.51 g.p.g. = 9.923 " " "
		9		335.69 g.p.g. = 5.758 " " "
		10		419.99 g.p.g. = 7.204 " " "
		11		729.09 g.p.g. = 12.5058 " " "
		12		243.18 g.p.g. = 4.1711 " " "
		13		322.52 g.p.g. = 5.5320 " " "
		14		353.63 g.p.g. = 6.0656 " " "
		15		386.52 g.p.g. = 6.6298 " " "
		16		354.46 g.p.g. = 6.0799 " " "
		17		503.60 g.p.g. = 8.6381 " " "
		18		480.90 g.p.g. = 8.2487 " " "
		19		302.46 g.p.g. = 5.1879 " " "
		20		873.22 g.p.g. = 14.978 " " "
		21		351.55 g.p.g. = 6.030 " " "

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	SOLIDOS DISUELTOS.
1945.-	Enero	21	Fábrica de	101.21 g.p.g. = 1.736 gramos por litro.
		22	Alcohol.	131.64 g.p.g. = 2.258 " " "
		23		161.84 g.p.g. = 2.776 " " "
		24		191.46 g.p.g. = 3.284 " " "
		25		180.38 g.p.g. = 3.094 " " "
		26		215.34 g.p.g. = 3.6937 " " "
		27		275.29 g.p.g. = 4.7219 " " "
		28		255.84 g.p.g. = 4.3883 " " "
		29		216.92 g.p.g. = 3.7207 " " "
		30		189.59 g.p.g. = 3.2519 " " "
1945.-	Febrero	3		199.74 g.p.g. = 3.426 " " "
		4		244.16 g.p.g. = 4.123 " " "

AÑO.	MES.	DIA.	CALDERA.	SOLIDOS DISUELTOS.				
1945.-	Febrero	5	Fábrica de	223.52	g.p.g. =	3.834	gramos por litro.	
		6	Alcohol.	250.26	g.p.g. =	4.292	"	"
		7		289.28	g.p.g. =	4.962	"	"
		8		327.87	g.p.g. =	5.624	"	"
		9		229.47	g.p.g. =	3.936	"	"
		10		254.30	g.p.g. =	4.362	"	"
		11		181.19	g.p.g. =	3.1078	"	"
		12		145.15	g.p.g. =	2.4897	"	"
		13		135.72	g.p.g. =	2.3279	"	"
		14		193.67	g.p.g. =	3.3219	"	"
		15		142.02	g.p.g. =	2.436	"	"
		16		201.25	g.p.g. =	3.4519	"	"
		17		110.65	g.p.g. =	1.8979	"	"
		18		178.56	g.p.g. =	3.0627	"	"
		19		194.02	g.p.g. =	3.3279	"	"
		20		208.36	g.p.g. =	3.5739	"	"
		21		155.00	g.p.g. =	2.6586	"	"

"PROMEDIOS FINALES DE LOS REPORTES DE LA CASA DE CALDERAS".

Ingenio Central Ejidal "EMILIANO ZAPATA".

ZACATEPEC, MOR.

ZAFRA 1944-1945

PERIODO.	CALDERA.	pH	h	M	P	Cl
----------	----------	----	---	---	---	----

DESINCORUSTANTE "RENAULT".

21 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(12 días)

I 9.270 7.1313 3.82358 2.5753 2.35158

DESINCORUSTANTE "NALCO".

11 Enero 1945 a
28 Febrero 1945.
(48 días)

I 8.793 3.6943 4.608791 3.15814 1.77916

PERIODO.	CATEGORIA.	g	h	M	P	Cl
----------	------------	---	---	---	---	----

DESINCRUSTANTE "RENAULT".

22 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(13 días)

II	9.192	6.4042	3.73566	2.70629	1.16845
----	-------	--------	---------	---------	---------

DESINCRUSTANTE "NALCO".

11 Enero 1945 a
28 Febrero 1945.
(44 días)

II	8.690	2.5125	4.73225	3.195727	1.27756
----	-------	--------	---------	----------	---------

DESINCRUSTANTE "RENAULT".

22 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(15 días)

III	8.863	6.6820	2.666773	2.35457	1.42980
-----	-------	--------	----------	---------	---------

DESINCRUSTANTE "NALCO".

11 Enero 1945 a
28 Febrero 1945.
(45 días)

III	8.641	2.6588	5.718733	3.547166	1.49830
-----	-------	--------	----------	----------	---------

DESINCRUSTANTE "RENAULT".

29 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(11 días)

IV	9.045	5.6463	3.021727	2.90360	1.49518
----	-------	--------	----------	---------	---------

DESINCRUSTANTE "NALCO".

11 Enero 1945 a
28 Febrero 1945.
(47 días)

IV	8.936	2.7840	6.203830	4.46442	1.78742
----	-------	--------	----------	---------	---------

"CALDERA DE LA FABRICA DE ALCOHOL".

15 Enero 1945 a
27 Febrero 1945.
(37 días)

	9.552	12.6680	10.61767	6.82762	5.90329
--	-------	---------	----------	---------	---------

"PROMEDIOS FINALES DE LOS SOLIDOS TOTALES Y DE LOS SOLIDOS DISUELTOS".

PROMEDIO POR CALDERA (FABRICA DE AZUCAR).

DESINCRUSTANTE "RENAULT".

"SOLIDOS TOTALES".

22 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(16 días)

21.049999 granos por galón = 0.361333 gramos por litro.

"SOLIDOS DISUELTOS".

22 Diciembre 1944 a
11 Enero 1945.
(16 días)

13.268573 granos por galón = 0.227604 gramos por litro.

DESINCRUSTANTE "NALCO".

"SOLIDOS TOTALES".

12 Enero 1945 a
21 Febrero 1945.
(39 días)

30.10742 granos por galón = 0.5159355 gramos por litro.

"SOLIDOS DISUELTOS".

12 Enero 1945 a
21 Febrero 1945.
(39 días)

21.373408 granos por galón = 0.366861 gramos por litro.

"CALDERA DE LA FABRICA DE ALCOHOL".

"SOLIDOS TOTALES".

16 Enero 1945 a
21 Febrero 1945.
(30 días)

423.7583 granos por galón = 7.25857 gramos por litro.

"SOLIDOS DISUELTOS".

21 Enero 1945 a
21 Febrero 1945.
(29 días)

199.4379 granos por galón = 3.42085 gramos por litro.

ar.

Formuló, Ashton Raimond.
(U.P.)