TABLA IV

Solubilidad de Sulfato de Calcio en Agua de 0° a 220°C.-

Temperatura (°C)	Solubilidad en p.p.m.de $CaCO_3$
0	1,293
40	1,551
100	1,246
170 (100 psig.)	103
200 (210 psig.)	56
220 (322 psig.)	40

Debido a la baja solubilidad del $CaSO_4$ a temperatura prevalecientes en las calderas, y al tipo de incrustación dura y adherente, no se puede tolerar - ninguna cantidad de sulfato de calcio en agua para ser usadas en calderas.

Sales de Magnesio.-

Cloruro de Magnesio.- ($MgCL_2$)

El cloruro de magnesio se localiza en - el agua de mar, salmueras naturales, depósitos salinos etc., Se presenta en la naturaleza bajo la forma de di-

ferentes minerales como son:

Cloromagnesita	$MgCl_2$
Biscofita	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Carnalita	$MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$
Taquidrita	$CaCl_2 2MgCl_2 12H_2O$

El cloruro de magnesio es delicuescente y - bastante soluble en agua, a una temperatura de 0°C es solu ble en 362,000 p.p.m. y a 100°C es de 443,000 p.p.m.

Su presencia en el agua de daldera es muy - perjudicial por su acción corrosiva debido a que a la temperatura de operación, produce una reacción química con el agua generando ácido clorhídrico e hidróxido de magnesio:

$$MgCl_2 + 2H_2O \longrightarrow 2HCl + Mg(OH)_2\downarrow$$

El depósito que se genera es de hidróxido - de magnesio el cual debido a su baja solubilidad en el agua se precipita y se adhiere a las paredes del equipo.

A una temperatura de 100°C la solubilidad en agua de hidróxido de magnesio expresada en p.p.m. de carbona to de calcio es de 8.

Bicarbonato de Magnesio.- $Mg(HCO_3)2$

Esta sal solo existe en solución y se forma en la acción del agua que contiene dióxido de carbono libr sobre la magnesita, dolomita, piedra caliza dolomítica y otros tipos de minerales que contengan carbonato de magnesio de acuerdo a las siguientes reacciones:

$$MgCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Mg(HCO_3)2$$

La solubilidad del bicarbonato de magnesio en agua saturada de CO_2 a 0°C es de 37,100 p.p.m. La cantidad de bicarbonato de magnesio en las aguas naturales es usualmente baja menor de 75 p.p.m. Por la acción de las elevadas temperaturas y presiones de operación en las calderas la anterior reacción química se hace reversible y desplaza el equilibrio hacia los reactivos, es decir el bicarbonato de magnesio en solución se descompone en carbonato de magnesio, agua y desprendimientos de bioxido de carbono.

$$Mg(HCO_3)\,2 \longrightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

El carbonato de magnesio producido en la anterior reacción es soluble en agua pura, siendo de 101 .-

p.p.m. a 32°C y 75 p.p.m. a 100°C. Pero bajo las condiciones térmicas elevadas, el carbonato reacciona con el agua desprendiendo bioxido de carbono y precipitando hidróxido de magnesio cuya solubilidad en agua es demasiado baja, de 17 p.p.m. a 0°C y de 8 p.p.m. a 100°C.

El hidróxido de magnesio en forma de depósito; puede perder parte de su contenido de agua al adherirse a los tubos y aparecer parcialmente como óxido de magnesio.

A temperaturas y presiones muy elevadas la solubilidad del hidróxido de magnesio disminuye, pues a una temperatura de 200°C y 14.2 atmosferas, la solubilidad llega a ser un poco mayor de una parte por millón expresada como carbonato de calcio.

MECANISMO DE FORMACION DE INCRUSTACIONES.-

El mecanismo de formación de incrustaciones es complejo y durante muchos años ha sido objeto de controversias. Por lo que aquí, se describirán las formas posibles como se generan las incrustaciones.

Si un agua conteniendo bicarbonato de calcio, es calentada, dióxido de carbono es desprendido y puesto que la elevada solubilidad del $Ca(HCO_3)_2$ es debido a la presencia de este gas, el carbonato de calcio es precipitado rápidamente, tan pronto se vaya disminuyendo la concentración del CO_2 en el agua. Como resultado de éste fenómeno se producirá una incrustación de carbonato de calcio.

El sulfato de calcio, debido a su insolubilidad a temperaturas elevadas, es precipitado rápidamente, pudiendo ser convertido en otro compuesto por tratamiento químico o removido del agua tan pronto se va precipitando, mediante purgas. Si lo anterior no se realiza, producirá, sobre las superficies del equipo, tubería etc., una incrustación dura y adherente.

La explicación más clara de la depositación de sólidos en calderas por ejemplo fue realizada por Dewrance y posteriormente por Partridge. Este último cita en uno de sus trabajos lo siguiente: La depositación y crecimiento de los cristales sobre las superfi-

cies de calentamiento de calderas, es ocasionado principalmente por el hecho de que ciertas sustancias ligeramente solubles vienen a ser menos solubles con temperaturas más elevadas.

La depositación inicial de cristales es el resultado de la cristalización en la superficie calentada, por una solución la cual es sobresaturada con respeto al soluto que forma la incrustación. Puesto que las sustancias formadoras de incrustaciones disminuyen su solubilidad con los aumentos de temperatura, éstas se precipitarán formando costras o depósitos en las superficies de las tuberías etc.

La película de agua en contacto con la superficie de calentamiento tiende a estar sobresaturada, aún cuando el cuerpo de la solución esta en el estado de saturación. La sobresaturación en la película del líquido en la superficie de calentamiento puede ser quitada por cristalización espontánea, ocasionada posiblemente por irregularidades en la superficie, aún cuando ninguna vaporización se produzca. Cuando hay burbujas que se desprenden en la superficie de calentamiento, sin embargo, el exceso de soluto, es depositado como cristales pequeñísimos en anillos direc-

tamente en las interfases sólido-líquido- vapor formadas en la superficie metálica, el agua de la caldera, y las burbujas formándose en la superficie.

El crecimiento de la incrustación después de la depositación inicial de núcleos de cristales puede efectuarse en dos formas.

Los cristales existentes pueden desarrollarse por contacto con la película líquida sobresaturada, efectuándose una difusión de materia del soluto soluble hacia el soluto insoluble de la incrustación.

Si éstos cristales son removidos del contacto con la solución, con el uso de una película de sustancia coloidal presente en el agua de la caldera, una posterior depositación de nuevos cristales, sobre el depósito anterior toma lugar como resultado de la evolución de burbujas. En el primer caso, la incrustación resultante consiste principalmente de cristales relativamente grandes orientados más o menos perpendicularmente sobre la superficie de calentamiento, en la segunda etapa, la incrustación consistirá de cristales relativamente pequeños con orientación al azar.

El crecimiento de éstas incrustaciones es acelerado por el efecto de la fricción superficial en la pared interna de los tubos, puesto que las velocidades a lo largo de la pared del tubo son más pequeñas que en el centro del tubo.

Puesto que la formación de incrustaciones es ocasionada por la depositación de minerales a temperaturas y presiones elevadas, es un fenómeno análogo a la formación geológica, lo cual se confirma mediante la identificación petrográfica.

ESTUDIO ANALITICO TEORICO DE LA FORMACION DE SUCIEDAD E INCRUSTACION EN SUPERFICIES TERMICAS.-

El objetivo de éste análisis es el de establecer relaciones físicas y matemáticas entre una caída de presión aprovechable y la acumulación de suciedad e incrustación con el tiempo.

En la literatura, el único postulado matemático incluyendo incrustación superficial fúé presentado por -