

**VOSGES di Moreno Beggio**  
**Sección aceleradores iónicos**  
**Via Roma, 133**  
**36040 - TORRI DI QUARTESOLO -**  
**VICENZA - ITALIA**

télef. +39-0444-387119 r.a.  
telefax +39-0444-264228  
correo-e : [estero@vosges-italia.it](mailto:estero@vosges-italia.it)  
<http://www.vosges-italia.it>

**INFORME ENEL RIT BRINDISI**  
**PLANTA DE BARI - DIVISION QUÍMICA**

(traducido del original al español)



**COMENTARIOS A LOS RESULTADOS INICIALES DEL**  
**PRIMER TRATAMIENTO MAGNÉTICO DE DEPÓSITOS**  
**DE CARBÓN CON UN DISPOSITIVO VOSGES**

**Marzo 1994**

# ÍNDICE

## 1. PREÁMBULO

## 2. PROBLEMA DE PRECIPITACIÓN DE CARBONATO

2.0. Cuestiones generales

2.1. Nociones de cristalografía

2.2. La influencia del campo magnético sobre la cristalización

2.3. Efecto del campo magnético sobre los depósitos de carbono existentes

## 3. PRIMERAS EXPERIMENTACIONES

3.0. Cuestiones generales

3.1. Análisis de muestras de agua sin tratar

3.2. Análisis de muestras de agua tratada con campos magnéticos

3.3. Prueba de precipitación durante el flujo continuo y bajo tensión térmica

3.4. Prueba realizada en la caldera afectada por ensuciamiento carbonático.

## 4. CONCLUSIONES

## 1. PREÁMBULO

La importancia del problema de los depósitos de carbono en el intercambiador de refrigeración de tuberías causados por el agua muy calcárea empujó la División de Química de la Planta de Bari a llevar a cabo la investigación, inicialmente teórica y experimental más tarde, sobre las posibles soluciones alternativas que podrían resolver el problema técnico más eficazmente y también conseguir ventajas económicas necesarias para limitar los gastos de funcionamiento de la planta.

En este sentido, un dispositivo pasivo magnético, tecnológicamente más avanzado que otros actualmente en el mercado, ha demostrado ser particularmente interesante.

Lo que diferencia a este aparato de la gran cantidad de dispositivos es la creación de planchas magnéticas con una aleación samario-cobalto capaz de producir un intenso campo magnético constante de 10.000 Gauss.

## 2. PROBLEMA DE LAS PRECIPITACIONES DE CARBONATO

### 2.0. Cuestiones generales

Hoy en día, los distintos tipos de dispositivos magnéticos, electromagnéticos, electrónicos (continua polarización de corriente eléctrica), las mangas de metal con o sin electrodos de protección, utilizan las planchas de ferrita enriquecidas con Neodimio, cuyo campo magnético sufre con el paso del tiempo un debilitamiento debido a los fenómenos de desmagnetización y corrosión de la ferrita.

El importante efecto del campo magnético no es la alteración del equilibrio químico del agua, sino la interferencia con el proceso de enucleación de los cristales, actuando sobre los niveles de hiper-saturación en el germen, y la modificación de la fase cristaloquímica.

Este efecto es más evidente si se aplica a las especies salinas que muestran diversos tipos de fases polimórficas, incluyendo el carbonato de calcio, por el valor particular del radio iónico de  $0,99 \text{ \AA}$ .

### 2.1. Nociones de cristaloquímica

El carbonato de calcio, en su forma cristalina, puede presentarse en tres fases diferentes, o sea : la calcita con la cristalización en el sistema romboédrico de tres ejes (en esta fase se cristalizan los sales con un haz de iones de entre  $0,78 \text{ \AA}$  y  $1 \text{ \AA}$ ), aragonita con la cristalización en el sistema rómbico de un solo eje (fase de cristalización de los sales con un haz de iones entre  $1 \text{ \AA}$  y  $1,43 \text{ \AA}$ ), y vaterita presente en algunas estructuras de organismos marinos cuya cristaloquímica está relacionada con los procesos de metabolismo proteínico.

De las tres formas, la más probable, a temperatura y presión ambiente desde un

punto de vista termodinámico, es la calcita.

En los normales procesos de calentamiento de las aguas en circuitos térmicos, el bicarbonato de calcio, en la fase sucesiva de descomposición con la formación de la especie carbonática, forma una incrustación muy adherente y compacta a las superficies metálicas.

Probablemente, la evolución y formación de la calcita depende de la falta de un doblete electrónico en el átomo de carbono; el átomo de carbono intenta eliminar esta deficiencia deteniendo un doblete electrónico de un átomo con capacidad de donación como es el caso de los metales, que, en general, tienen dobletes electrónicos libres.

En la mayoría de los casos, esta acción se realiza gracias al elemento metálico de la tubería, cuya superficie microscópicamente rugosa favorece la formación de los gérmenes cristalinos, poniendo en participación con el carbono un doblete electrónico, formando así un enlace metal-carbono que fija el germen cristalino de forma permanente a la tubería, permitiendo el desarrollo del germen.

Este crecimiento se debe a los átomos que participaron a la formación del enlace, átomos en los que permanece una carga residual que genera dipolos; éstos actúan como puntos de atracción y de orientación para otras moléculas, que poco a poco se acumulan.

La agrupación de las moléculas en el proceso de cristalización no se produce por casualidad, sino que se lleva a cabo de acuerdo con la orientación de los dipolos eléctricos existentes y de los campos magnéticos generados por los electrones; el ataque de las moléculas se orienta en el espacio según a las direcciones en las que las atracciones son mayores y las interferencias magnéticas menores.

En base a estos aspectos electro-químicos, la posible influencia de un campo magnético aplicado desde el exterior provoca una alteración de la estructura no química, sino física, ya que esto no influye en la solubilidad de los compuestos, y por lo tanto no afecta el valor de lo que se produce por la solubilidad.

Esta influencia, que varían según la intensidad del campo magnético, es un factor decisivo en la evolución y desarrollo de la germinación cristalina.

## 2.2. Influencia del campo magnético sobre la cristalización

Respecto al fenómeno de solvatación, cada ion metálico está rodeado por un cierto número de moléculas de agua por la presencia de dipolos eléctricos, cuyas extremidades se orientan en el espacio según la atracción electrostática de los iones.

En este ambiente de agua-ion, el ion ocupa la cavidad central y el radio de esta cavidad debería corresponder al radio cristalográfico del ion. En realidad, a causa de este fenómeno, el radio de la cavidad es en realidad diferente.

El valor de este radio está relacionado con la distancia entre el centro de cavidad del ion y el dipolo del agua más cercano. Esta distancia, o sea el radio efectivo del ion, depende de la orientación del dipolo.

El radio real es mayor que el radio cristalográfico y para los cationes, cuando no se aplica ninguna fuerza externa, esta diferencia corresponde a  $0,1 \text{ \AA}$ .

La influencia de un campo magnético de alta intensidad capaz de neutralizar los campos magnéticos producidos por los electrones, impide la libre y armónica orientación.

Los dipolos, por lo tanto, tendrán que posicionarse según las líneas de fuerza

del campo magnético aplicado, y esta orientación obligada influirá sobre el radio real del ion.

En el caso del ion calcio, la orientación de los dipolos forzada provoca un aumento considerable en el radio real en relación con el radio cristalográfico. En esta forma el ion actúa como si el radio iónico fuese de más de  $0,1 \text{ \AA}$ , dando lugar a cristales del sistema rómbico y no romboédrico.

Esta deformación del ion corresponde a la absorción de energía por parte del sistema que se transfiere a la precipitación, que consiste en aragonita, meta estable, con un contenido energético superior a lo de la calcita.

Pero el efecto anti-incrustación no sólo depende de las diferentes formas cristalógicas de formación de calcita y aragonita, ya que ambos, sobre todo la calcita, dan lugar a grupos y depósitos compactos.

En la formación de aragonita, las moléculas se posicionan de acuerdo a las líneas de fuerza del campo magnético debido a la presencia de un dipolo eléctrico, y esta alteración provocará un impedimento estérico a la construcción de la red cristalina, ya que no será capaz de posicionarse libremente en el espacio y de unirse según las líneas de atracción de los dipolos eléctricos presentes en las moléculas.

Estas atracciones constituyen las fuerzas intra-moleculares que causan la cohesión cristalina.

La ausencia de estas provoca la formación de depósitos amorfos, que se presentan como una sustancia blanda, polvo inconsistente, formado por una serie de cristales muy pequeños que tienen un hábito acicular muy ligero que fácilmente puede eliminarse por medio de la acción fluido dinámica del agua.

### 2.3. Efecto del campo magnético sobre los depósitos de carbono existentes

Otro aspecto importante de la acción de los campos magnéticos es el comportamiento sobre las incrustaciones ya existentes en el circuito.

Aunque el carbonato de calcio es insoluble puede llegar a ser soluble en determinadas condiciones químicas. En realidad entre el precipitado de carbonato de calcio y agua endurecida por el calcio se crean las condiciones continuas de equilibrio dinámico.

De hecho, existen continuos intercambios entre los iones de calcio generados por la disociación de la cantidad mínima de carbonato de calcio solubilizado y el ion de calcio contenido en el agua, con la re-formación de un carbonato de calcio alterado, debido a la precedente influencia del campo magnético, y la consecuente transformación de la calcita en aragonita.

Debido a la limitada solubilidad del carbonato de calcio, esta forma de cinética es muy lenta, y el tiempo y el estado de los agentes de carbonato en las distintas superficies desarrollan un papel importante en este proceso.

## 3. PRIMERAS EXPERIMENTACIONES

### 3.0. Cuestiones generales

Para comprobar los resultados de la investigación teórica, se llevaron a cabo pruebas en muestras de aguas, sometidas y no a la acción del campo magnético de alta intensidad con un aparato continentes planchas de samario-cobalto provisto en comodato de empleo por la empresa Vosges.

El agua analizada presenta características incrustantes (índice Rígida Stiff-Davis 2.1), con un alto contenido de bicarbonato de calcio, y constituye el agua que se suministra actualmente al circuito de refrigeración de las torres de evaporación.

En la primera serie de pruebas de laboratorio se analizaron volúmenes iguales de agua tratados y no sometidos a calentamiento gradual hasta llegar a las condiciones térmicas de precipitación total (80°C), en recipientes de litro de vidrio.

Para evitar de llegar a zonas con alto gradiente térmico, la muestra fue ligeramente "revuelta" durante toda la fase de calentamiento por medios magnéticos.

Después de la precipitación total, la muestra se dejó enfriar lentamente y la solución se filtró a través de un lavado final del precipitado con agua desmineralizada.

Esta operación fue necesaria para eliminar posibles impurezas debidas al agua llena de solución salina, lo que habría causado informaciones erróneas del examen de cristalografía de rayos X y del EDS.

### 3.1. Análisis de muestras de agua sin tratar

Las paredes de los contenedores de vidrio presentaban aspereza y rugosidad. Con el recipiente seco, esta formación de color blanco se presenta consistente y compacta.

El examen microscópico en un vidrio en contraste con luz polarizada con un aumento de 400 X revela una distribución heterogénea de cristales con hábito prismático extendido con un alto nivel de enucleación (agregados pluri-aciculares con los gérmenes de cristalización en evolución).

El examen cristalográfico evidencia en gran parte proporción de calcita mixta a una menor proporción de aragonita.

Otros exámenes sobre la base de estudios realizados con el microscopio electrónico con EDS micro sonda revela la presencia de grandes cantidades de estroncio, responsable de esta ligera formación (fenómeno de isomorfismo).

### 3.2. Análisis de muestras de agua tratada con el campo magnético

En este caso, las paredes de los contenedores de vidrio, después del vaciado del agua y el secado, se presentan cubiertas de una impalpable formación fácilmente removible con un dedo o con un poco de agua.

El examen microscópico un vidrio con luz polarizada con un aumento de 400 X revela una distribución dimensional homogénea de los cristales, con un hábito prismático extendido 20 a 25 veces menor que el caso descrito en el punto 3.1.

El examen de cristalografía a los rayos X evidencia la presencia total de

aragonita.

### **3.3. Prueba de precipitación en condiciones de flujo continuo bajo carga térmica**

Para probar el comportamiento del agua tratada con un campo magnético y no, fue creado un circuito que consiste en un aparato de vidrio cuya parte superior fue cubierta por una resistencia de cuarzo sonda con una potencia de 400 Watts sumergida por el agua.

El caudal del agua de escape mantenía una temperatura constante de 80°C.

En ambos casos, la prueba duró cuatro días de forma continua.

Durante la prueba, se tomaron muestras de agua descargada con el fin de medir la variación del ion de calcio y el contenido en sólidos en suspensión.

En la primera prueba, para estudiar el comportamiento del agua tal cuál sin tratamiento magnético, sobre los lados de la sonda de cuarzo de calefacción se releva una moderada formación de carbonato, muy difícil de eliminar y extremadamente compacto.

Un tratamiento ácido permitió su eliminación.

El análisis de calcio en una muestra filtrada enseñó valores de las variables, con una reducción de 15-20% en comparación con el valor en entrada.

El contenido en sólidos en suspensión fue variable de 2-5 ppm.

En la segunda prueba, en la que el dispositivo magnético se colocó en el circuito, el superficie de la sonda de cuarzo fue cubierto con una capa polvorienta luz que podría ser fácilmente retirar con agua a chorro o con papel suave.

El análisis de calcio en la muestra filtrada mostró una variación de los valores con una disminución de 15-20% con respecto al valor de acceso.

El contenido en sólidos en suspensión es variable y incluido entre 10-15 ppm.

### **3.4. Prueba realizada en la caldera de afectados por ensuciamiento carbonático**

Para verificar la acción del campo magnético sobre los depósitos de carbono existentes en circuitos sometidos a un considerable estrés térmico un dispositivo se ha instalado en la entrada del suministro de agua potable de la caldera, situada en el comedor de la empresa, con una capacidad de 1000 litros y una temperatura del agua alrededor de 90°C.

Antes de que el dispositivo fuera instalado, para controlar el nivel de ensuciamiento el elemento calefactor fue retirado y visionado.

Una considerable formación de carbonato compacto fue descubierta, de color ámbar debido a la presencia de óxidos de hierro.

Las superficies internas resultaron ser completamente cubiertas por los mismos depósitos, impidiendo la visión de la capa de zinc.

Al limpiar los tanques y unidades de utensilios de cocina, el personal de limpieza utiliza detergentes a base de ácido que, según ellos, no siempre son suficientes, a menos que vayan acompañados por un uso vigoroso de esponjas abrasivas.

Después de 50 días, se ha procedido de nuevo a la abertura de la caldera.

**El elemento calentador esta vez no presentaba depósitos de carbono; en el fondo de la caldera se relevaron muchas incrustaciones muy friables al tacto.**

**Se observaron también las superficies libres interiores de zinc.**

**El personal de limpieza declaró que, durante el período de experimentación, no utilizó el detergente ácido no aplicó alguna acción enérgica para limpiar las paredes del tanque.**

#### **4. CONCLUSIONES**

**Estas pruebas iniciales de un dispositivo magnético para prevenir la formación de depósitos de carbono derivados de las precipitaciones de los carbonatos han producido resultados satisfactorios.**