

4 Incrustación

La incrustación es el proceso en el cual material no deseado se deposita sobre una superficie, dicho proceso puede ocurrir en presencia o ausencia de un gradiente de temperatura. Existen diversos tipos de incrustación los cuales se clasifican en 6 grupos principales (<http://www.bcsqa.ca/bcsgirs/fouling.htm>):

- 1) Incrustación por precipitación (Cristalización de sales disueltas en la superficie de transferencia)
- 2) Incrustación particulada
- 3) Incrustación por reacción química
- 4) Incrustación corrosiva
- 5) Incrustación biológica
- 6) Incrustación por solidificación

En cada uno de los casos, el proceso se lleva a cabo en el siguiente orden: proceso de nucleación o tiempo de inducción, transporte, fijación, y remoción.

Se deben conocer y tomar en cuenta los factores de los que depende la incrustación, para el correcto diseño de un equipo, siendo los más importantes:

- Las propiedades físicas, químicas, composición y el pH del fluido.
- El estado físico del fluido (líquido, vapor ó dos fases)
- Tipos y cantidades de impurezas disueltas y suspendidas
- Velocidad del fluido
- Régimen del fluido: laminar o turbulento

- Forma de transferencia de calor
- Tipo de superficie

4.1. Incrustación en intercambiadores de calor

La formación de depósitos de incrustación en intercambiadores de calor es la mayor causa de reducción de eficiencia y capacidad del sistema de calentamiento. Al incrementarse la energía necesaria para una operación, también se incrementan los costos al paso de los años por lo que se ha dado especial atención a este problema.

En la siguiente tabla se muestra el incremento en consumo de energía como función del grosor de la capa de incrustación (<http://www.scaleaway.com/Hardwater.html>).

Tabla 4.1 Incremento en consumo de energía en función de grosor de incrustación.

Grosor de la capa de incrustación in	Incremento consumo de energía %
1/32	8.5
1/16	12.4
1/8	25
1/4	40

Una técnica común de prevención es estimando un factor de incrustación en la etapa del diseño; es decir, permitiendo que la superficie adicional del traspaso térmico compense la pérdida superficial causada por la incrustación. Estos sistemas son de mayor capacidad del requerido funcionan a menudo en el 80% o aún debajo del 50% de su flujo diseñado. Este exceso de área puede dar lugar a problemas durante el inicio de la operación además de promover las condiciones que pueden provocar incrustación más allá de lo que se especifica en el diseño, por otra parte, si un factor de incrustación no se considera en la etapa del diseño, la pérdida de calor puede exceder del 50%, dando por resultado un desequilibrio de la energía dentro de la operación. Hoy un factor de incrustación se considera necesario pero no suficiente en la prevención de incrustación. En muchos casos, incluso el diseño correcto de un cambiador de calor no evitará el problema de incrustación. Este factor de incrustación es considerado como una resistencia a la transferencia de calor R_f , incrementando esta resistencia a la resistencia de la superficie limpia se obtiene el área requerida de transferencia (Tien L., 1992), el factor de incrustación influye directamente en el coeficiente de transferencia de calor.

$$R_f = \frac{1}{U_{sucio}} - \frac{1}{U_{limpio}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Para intercambiadores de calor de agua de mar se espera una resistencia debido a la incrustación (<http://www.processassociates.com/.htm>):

Tabla 4.2 Resistencia debido a incrustación.

Temperatura °C	Bajo 115°C		Arriba 115°C hasta 204.4°C	
Velocidad ft/s	Bajo 3 ft /s	Arriba 3ft/s	Bajo 3 ft/s	Arriba 3ft/S
Resistencia hft²°F/Btu	.0005	.0005	.001	.001

Esta propuesta tiene algunas desventajas debido a que para determinar la resistencia por incrustación no se toman en cuenta las condiciones de operación como lo son: velocidad de fluido, temperatura de superficie y composición. El mayor inconveniente de la resistencia de incrustación, es sin duda, que no se considera el factor tiempo (Tien, L. 1992) la principal consecuencia de estos aspectos es la formación de incrustación excedente a la esperada.

4.2 Incrustación en equipos desalinizadores.

La principal incrustación en los equipos desalinizadores que tienen intercambiadores de calor es debido a la presencia de CaCO₃ en el agua de mar (sal de solubilidad inversa) así como también la presencia de microorganismos y algas que crecen en superficies mejor conocida como incrustación biológica algunos de los organismos que forman incrustación biológica y se encuentran en agua de mar son *Corella inflata*, *Chelyosoma productum*, *Styela gibbsii*, *Distaplia occidentalis*, *Botrylloides violaceus*,

Eudistylia Hermissenda, crassicornis (<http://depts.washington.edu/fh1k12/StudentProjects/Settlingorganisms.html>). La incrustación de sales de CaCO_3 puede ser disminuida reduciendo la temperatura en los intercambiadores así como con la velocidad del flujo buscando mantener la eficiencia de los intercambiadores.

Debido a que la mayoría de plantas desalinizadoras son por procesos térmicos, la incrustación producida en los intercambiadores de calor es un problema latente, el éxito de estas plantas radica en que además de tomar en cuenta el factor de incrustación en la etapa de diseño, se agregan productos químicos que previenen la formación de incrustación de sales y la temperatura a la que operan dichas plantas es baja.

Los aditivos son polímeros basados en la química del ácido maléico y el ácido fosfónico-carboxílico (<http://lpq.com.mx/dtraa.htm>) los cuales previenen la formación de incrustación, no obstante, además de estos aditivos en los equipos de transferencia de calor para desalinización también se utiliza algún medio mecánico como raspadores para eliminar los depósitos de incrustación que ya se han formado, la incrustación biológica es reducida clorando el agua previamente al proceso (<http://www.commonwealthknowledge.net.htm>).



Figura 4.1 Raspadores para control de incrustación (Artículo referencia 21)

En el caso de la ósmosis inversa, la incrustación en las membranas utilizadas reduce su eficiencia y deteriora las mismas haciendo necesario el mantenimiento y cambio de membranas frecuentemente, para evitar esto anteponen membranas de ultra filtración y nanofiltración son sistemas integrados de membrana en configuración capilar. La incrustación en estos sistemas de membranas es disminuido por medio de modificaciones en su superficie, haciéndola más hidrofílica y reduciendo su afinidad con los sólidos disueltos (www.membranes.com).