

Implicaciones del Biofouling en la Operación de Obras de Toma Submarinas en Centrales de Generación Eléctrica

Diana Karina Morán García
Departamento de Oceanografía
CFE-DCIPI-GEIC
Ciudad de México, México
diana.moran@cfe.mx

Roberto Uribe Romero
Departamento de Oceanografía
CFE-DCIPI-GEIC
Ciudad de México, México
roberto.uribe@cfe.mx

Felipe de Jesús Leyva Muñoz
Departamento de Modelos
Matemáticos
CFE-DCIPI-GEIC
Ciudad de México, México
felipe.leyva@cfe.mx

Alejandro Lara Hernández
Departamento de Modelos
Matemáticos
CFE-DCIPI-GEIC
Ciudad de México, México
alejandro.lara@cfe.mx

Biofouling cause several problems in different kind of marine infrastructure, particularly in pipelines, increasing energy losses and the lowering of the water level, resulting in inadequate operation of the power generation plant. In order to prevent or mitigate these damages, it is necessary to implement a monitoring actions in the system and maintenance policies in pipelines to remove embedded organisms.

Keywords—*Biofouling, pipelines, power generation plant*

I. INTRODUCCIÓN

Históricamente los ambientes costeros han resultado ser propicios para la construcción de centrales termoeléctricas, pues el agua de mar es un recurso ilimitado aprovechable para los sistemas de enfriamiento, fundamental para su funcionamiento; mediante la construcción de obras de toma marinas el agua de mar es conducida hasta el cárcamo de bombeo donde la bomba de agua de circulación suministra el agua al condensador.

Las obras de toma marinas pueden ser a cielo abierto o mediante inmisarios submarinos; la elección de una u otra depende en gran medida de aspectos ambientales y sociales. Las primeras generan un impacto visual considerable, además de modificar las condiciones hidrodinámicas y morfodinámicas del frente donde se desplantan, sin embargo suelen ser efectivas pues durante la operación el mayor inconveniente puede llegar a ser el dragado de mantenimiento que se debe dar a los canales, mientras que las segundas pueden ir enterradas o sobre el lecho marino lo que reduce considerablemente los impactos durante la operación, sin embargo en éstas se ha observado el crecimiento y fijación de organismos, conocido como bioincrustaciones, que impacta en la correcta operación de las centrales de generación. Tal es el caso que se presenta en este documento, donde la acumulación de organismos bioincrustantes al interior del inmisario submarino, detectado desde el inicio de operación de la central, provocó una disminución en el diámetro nominal del inmisario y un incremento en el factor de rugosidad que se reflejó en el aumento considerable en los niveles de abatimiento en el cárcamo de bombeo.

II. FORMACIÓN DE BIOFOULING

El Biofouling o la incrustación de organismos en obras de infraestructura se manifiesta en diferentes tipos, desde escolleras y muelles, hasta barcos, así como diversas obras de tomas para abastecimiento de agua. Este fenómeno consiste en el crecimiento de organismos que se fijan a estructuras y las ocupan como hábitat; puede llegar a generar problemas de debilitamiento de estructuras o deficiencias en su funcionamiento.

Entre los organismos que se pueden encontrar formando incrustaciones están las macroalgas, así como los grupos de Crustáceos, Moluscos, Artrópodos, Anélidos, Cnidarios, Poríferos, entre otros. Los individuos de estos grupos desarrollan parte de su ciclo de vida en forma sésil, debido a lo cual, una de sus estrategias reproductivas se basa en la liberación de gametos a la columna de agua; como consecuencia, las poblaciones se relacionan con las corrientes y el oleaje (hidrodinámica local) influyendo en la dispersión, transporte de gametos y larvas, así como en la colonización de los precursores de la población. Posteriormente la microhidrodinámica influye en el asentamiento de las especies secundarias del proceso sucesional.

Sin embargo, no es el único factor que influye en la estabilización de comunidades pioneras, sino también, depende de la capacidad de producción gametos, ya que a mayor cantidad de gametos resultará un mayor número de larvas y por lo cual una mayor cantidad de organismos incrustantes.

La disponibilidad de sustrato es un factor importante debido a que influye en la colonización de organismos incrustantes. En general, la disponibilidad de sustrato apto para que se establezcan las larvas es limitada, siendo las estructuras artificiales ocupadas por diversos grupos. Sin embargo, se puede presentar una sucesión de especies, que genere nuevos espacios disponibles para una recolonización sobre los esqueletos calcáreos de las especies pioneras, formando un microbioma y dando paso a poblaciones e incluso, comunidades estables.

Como es el caso que nos ocupa, donde en las tuberías submarinas presentan incrustaciones de organismos bentónicos, afectando el funcionamiento de la central por la reducción del flujo de agua, comprometiendo la capacidad de generación de energía.

Por lo expuesto, es importante identificar las especies que forman parte de las incrustaciones en la obra de toma, así como la comunidad planctónica presente en el frente costero y en particular determinar y/o cuantificar las posibles larvas que pudieran convertirse en organismos incrustantes.

III. OBRA DE TOMA

El caso de estudio se refiere a una obra de toma conformada por dos inmisarios submarinos que descargan en un canal a cielo abierto, que a su vez se conecta con un cárcamo de bombeo que aloja 4 bombas que succionan el agua de mar a razón de 35.68 m³/s. Desde su puesta en marcha, bajo ciertas condiciones de operación, el sistema de bombeo presentó problemas relacionados con la sumergencia, pues en ocasiones el abatimiento del nivel del agua en el cárcamo alcanzaba valores cercanos a la sumergencia mínima requerida, activando las alertas.

Para las condiciones de diseño, en el mar el nivel de referencia oscila desde 0.92 hasta -1.23 MSNMM, que corresponden al nivel máximo y de bajamar mínima, registrados en el sitio. La tubería submarina se desplantó a una cota de -11.20, mientras que la torrecilla de captación se coronó a la -3.10, lo que implica que la columna de agua es de 9.97 m, con referencia al nivel de bajamar mínima registrada. Para esta condición, en el cárcamo el nivel de alerta de superficie libre para disparo se fijó en -3.7 MSNMM, por lo que bajo cualquier condición el sistema debe mantener niveles de superficie libre del agua superiores a este.

La tubería submarina, de acero al carbón, con un diámetro nominal de 3.2 m cada una, y una rugosidad absoluta de diseño de 0.1 a 0.5 mm, con una longitud de 1201 m, debe tener la capacidad de transportar el gasto de diseño considerando las cuatro bombas operando en condiciones óptimas de velocidad y presión.

De origen el sistema cuenta con dos sensores de presión en los cárcamos de bombeo, que monitorean y registran cada 10 minutos el nivel de agua, que además encienden el nivel de alerta (-3.70) si el registro del nivel se encuentra cerca del nivel de disparo (-4.40).

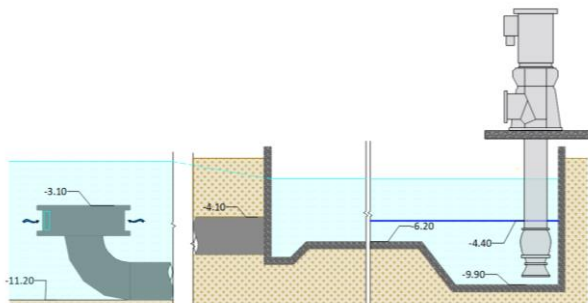


Fig. 1. Representación esquemática de la obra de toma (sección)

IV. PROBLEMÁTICA

Para definir la o las posibles causas del abatimiento extraordinario en el cárcamo de bombeo se verificaron aspectos como:

- Nivel de referencia de diseño (NMM)
- Diseño de la obra de toma (memoria de cálculo)
- Niveles (diseño vs construcción)
- Sistema de protección en las tuberías (protección catódica y cloración)
- Abatimiento real (a partir de instrumentación)
- Inspección de las tuberías submarinas

Encontrando que el abatimiento entre el nivel medio del mar y el nivel en los cárcamos era mayor al de diseño y que las tuberías submarinas registraban acumulación considerable de bioincrustaciones, tal como a continuación se describe:

A. Abatimiento real

Partiendo del hecho que el nivel referencia era correcto, las cotas de desplante están conforme a diseño y que el funcionamiento hidráulico corresponde a proyecto, se procedió a instrumentar la obra de toma, con la finalidad de verificar el comportamiento espacio temporal del abatimiento de la superficie libre desde la toma submarina, hasta el cárcamo de bombeo, para diferentes escenarios de operación. Iniciando con una campaña de medición de gastos. Del 28 al 30 de noviembre se realizó la primera campaña, en la Fig. 2. se muestra en línea discontinua el gasto nominal, en línea continua los gastos medidos según las condiciones de operación, iniciando con dos bombas encendidas y con gastos muy cerca de los nominales, posteriormente al entrar en operación otra bomba (3 bombas) se encontró que el gasto aforado es inferior al calculado, el 29 de noviembre aproximadamente a las 14:00 horas entran en operación las 4 bombas, alcanzando un gasto de 25 m³/s, debido a que las válvulas fueron manipuladas para controlar el abatimiento de niveles. En la Fig. 3., se presentan los niveles de superficie libre asociados, definiendo que con dos bombas trabajando al 100% el abatimiento medido era de aproximadamente 1.5 metros, al incluir una bomba más el abatimiento alcanzó 3 metros, y con las 4 bombas el abatimiento en el cárcamo fue de 3.5 metros, cercano al nivel de alerta, sin embargo, dos de las cuatro bombas operaron al 45% lo que evidenció que el abatimiento en la obra de toma era mayor al calculado.

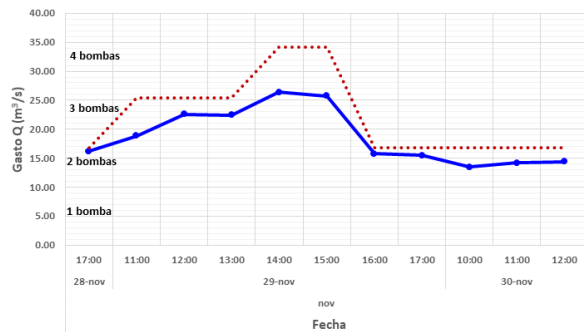


Fig. 2. Gastos de operación (nominal vs medido)

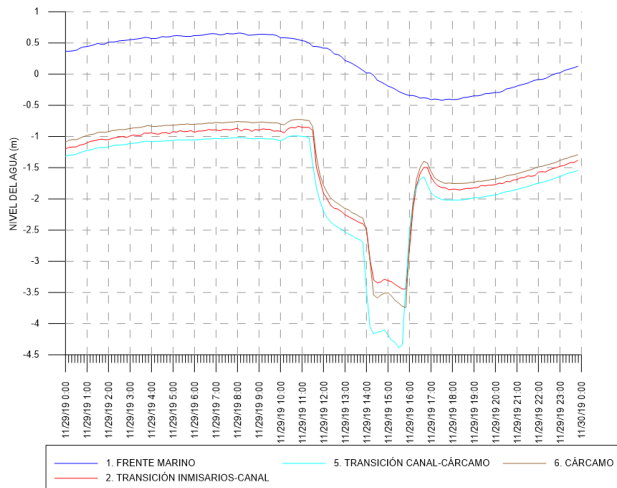


Fig. 3. Abatimiento de niveles asociados a los gastos mostrados en la Fig. 2.

Para obtener los niveles de superficie libre a lo largo de la obra de toma, se realizaron las campañas de medición en las que se instalaron en diferentes puntos de interés equipos autónomos, los cuáles registraron de manera casi continua los valores de columna de agua. La ubicación de los equipos se definió de manera estratégica a fin de verificar la variación espacio temporal de los niveles de superficie libre en el frente marino, transición, canal de llamada y cárcamo de bombeo, con lo que se logró establecer las pérdidas de carga a lo largo de la obra de toma.

En la Fig. 4. se muestra la variación del nivel del mar y del nivel del agua en el cárcamo de bombeo, ambos referidos al nivel medio del mar, además del nivel de alerta (-3.7 msnmm). De este trabajo se encontró que en 4 ocasiones el abatimiento superó el nivel de alerta. Resaltando que, si bien sólo fueron 4 ocasiones en un periodo de 5 meses, esto se debió a que la central no operó al 100% como ya se mencionó anteriormente, con la finalidad de no alcanzar el nivel de disparo (-4.40).

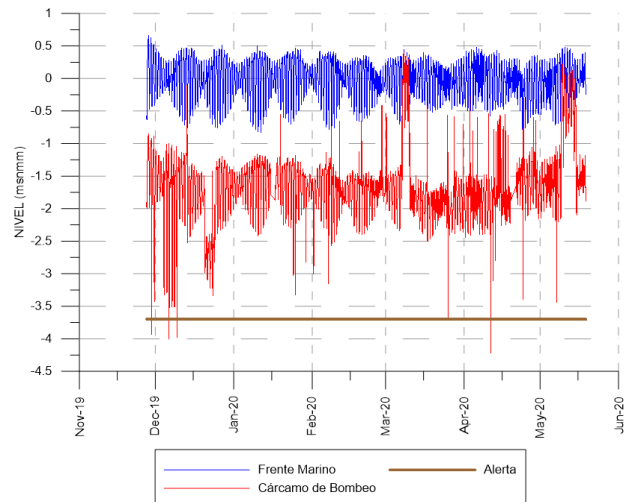


Fig. 4. Niveles medidos en el mar y cárcamo de bombeo (Dic 2019-Mayo 2020)

B. Inspección de las tomas submarinas

A la par de la instrumentación y verificación de gastos se realizó la inspección al interior de las tuberías submarinas, con el fin de verificar las incrustaciones a lo largo de los 1201 metros de cada una, para ello se utilizó un vehículo no tripulado, instrumentado con cámaras de video, el cual avanzó a lo largo de la tubería, haciendo un alto cada 20 metros para realiza una toma de 360° en el contorno del inmisario, haciendo un paneo en la tubería de cloración, en ambas direcciones. Con los resultados obtenidos se identificaron zonas de especial atención, donde bajaron buzos industriales para hacer mediciones de espesores de incrustaciones o estado de la tubería en general.

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestra el detalle de los hallazgos encontrados en la inspección de las tuberías submarinas, se encontró que al interior de la tubería dominan dos especies de organismos, las cuales con respecto al tiempo de filmación representan el 90% de las incrustaciones, siendo éstas los *mytilidos* y *balanos*. Por otro lado, en el espacio entre los organismos y en su caso, esqueletos calcáreos existe acumulación de sedimento no consolidado (el cual, en algunos casos, se remueve y permanece en suspensión). Esta forma de aumento en la rugosidad de la pared del tubo genera cavidades y zonas de acumulación de partículas. Con posterioridad estas se aglutinan y cohesionan detonando condiciones para que se inicie la colonización de otro tipo de organismos.

Hablando de espesores de acumulación, estos varían a lo largo de las tuberías, sin embargo se pudo definir un rango promedio de 5 a 10 cm, lo ratifica la modificación del diámetro nominal de la tubería, además de que la rugosidad de diseño considera acero al carbón, adicionalmente la cantidad de acumulación de organismos afecta el correcto funcionamiento de la tubería de cloración, esencial para el control de incrustaciones.



Fig. 5. Detalle de incrustación en la parte superior de la tubería

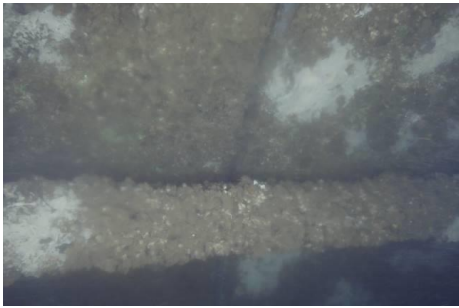


Fig. 6. Tubería de cloración y pared de tubería submarina



Fig. 7. Obtención de espesor de acumulación de incrustaciones

Una vez establecidas las causas de la problemática, se recomendó la implementación de medidas correctivas, basadas en los trabajos de limpieza de ambos inmisarios, para remover completamente los organismos incrustados, así como la rehabilitación de la tubería de cloración, la revisión del sistema de protección catódica, y la verificación de las dosis y políticas de cloración; acciones que resultarían en el funcionamiento adecuado de la obra de toma, con abatimiento en los niveles, dentro de las condiciones de diseño.

V. ACCIONES IMPLEMENTADAS

Siguiendo la recomendación, se iniciaron los trabajos de limpieza, basados en el retiro y desalojo de los organismos bioincrustantes desde el interior de las tuberías submarinas, aplicando distintos métodos (cavitación y medios mecánicos). Los trabajos duraron aproximadamente 9 meses, con porcentajes de remoción entre 65 y 99%.



Fig. 8. Tubería submarina luego de los trabajos de limpieza y sustitución de tubería de cloración



Fig. 9. Tubería submarina (unión y latiguillos), luego de la limpieza

VI. RESULTADOS

Partiendo de la premisa de que el incremento en el abatimiento de niveles se debía al crecimiento de organismos incrustantes en las paredes de los inmisarios, se mantuvo el sistema de monitoreo de niveles desde el mar hasta el cárcamo de bombeo, desde diciembre de 2019 y a la fecha, sin embargo, en este trabajo se presentan los datos medidos hasta febrero de 2021, fecha en la que terminaron los trabajos de limpieza. En la Fig. 10, se muestran las series de tiempo medidas, con las variaciones de superficie libre en mar (azul), cárcamo (rojo), nivel de alerta (café), nivel de disparo (verde). Los trabajos de limpieza fueron realizados de junio a febrero. Los registros donde el nivel en cárcamo y mar son similares corresponden a periodos donde las bombas salieron de operación. De noviembre a mayo se observan abatimientos promedio de 1.5 metros, con ciertos picos, asociados a la manipulación de válvulas para la operación segura. En el periodo de limpieza se mantuvieron las condiciones de abatimiento, sin embargo sólo en dos ocasiones se alcanzaron los niveles de alerta, resaltando que estas condiciones responden a las campañas de verificación de gastos que se realizaron, con el fin de monitorear la eficiencia de los trabajos durante su ejecución.

Antes de la limpieza se observan mayores variaciones en el abatimiento, que se prolongan por más tiempo, alcanzando la condición de alerta en 4 ocasiones, en promedio el abatimiento para esta condición fue de 1.59 metros con un máximo de 4.3 metros.

Durante la limpieza se observaron menores rangos de variación de abatimiento, con un valor promedio de 1.29 m y un máximo de 4.34. Los picos que se observan en este periodo

de tiempo seguramente responden a los instantes en que se manipularon las compuertas de los inmisarios por temas relacionados con la limpieza (cambio de trabajos de un inmisario a otro), en particular en este periodo los días 27,28 y 29 de septiembre y 18 a 20 de diciembre se llevaron a cabo las campañas de medición de gastos, por lo que en estas fechas la modificación de abatimiento responden a la manipulación de bombas y válvulas para efectos de aforo.

Finalmente, después de la limpieza, el abatimiento promedio es de 1.44 m con máximos de 2.56 metros.

Destaca que si bien la condición media de abatimiento se mantiene (de 1.29 a 1.59 m, con 1.44 en promedio) a lo largo de todo el registro, el abatimiento máximo mejora, pues pasa de 4.33 metros antes de la limpieza a 2.56 metros, después de la limpieza, lo que permite suponer la mejora en el sistema producto de la limpieza de los inmisarios.

VII. OBSERVACIONES

- La remoción de las incrustaciones en los inmisarios disminuyó el abatimiento de niveles en el canal de llamada y cárcamo de bombeo.
- Con el funcionamiento de las cuatro bombas al 100% los niveles en el cárcamo de bombeo están a un metro del nivel de diseño (-3.7 msnmm nivel de alerta) y a 1.7 metros del nivel de disparo de bombas, (-4.4 msnmm), esto para un nivel en el mar de -0.43 msnmm.
- El abatimiento de nivel promedio después de la limpieza con las cuatro bombas funcionando y los dos inmisarios abiertos es de 2.5 m, lo que equivale a una rugosidad absoluta K de 2 mm.
- Es fundamental que la protección catódica y el sistema de cloración funcionen correctamente a fin de evitar que las incrustaciones ocasionen problemas de abatimiento en los cárcamos de bombeo.