

EMISARIO SUBMARINO DEL BAIX LLOBREGAT

Tomás Cazorra Pérez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Depuradora del Baix Llobregat. Director Técnico

1. ANTECEDENTES

Depurbaix, S.A., es la empresa pública dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y de la Generalitat de Catalunya que gestiona la construcción y puesta en marcha de todas las infraestructuras de saneamiento asociadas a la Depuradora del Baix Llobregat. Estas obras son una pieza clave del Saneamiento de Catalunya y su construcción permitirá el saneamiento del último tramo del río Llobregat y la mejora de las playas comprendidas entre el puerto de Barcelona y el macizo del Garraf

Las obras cuentan con una inversión aproximada de 40.000 MPTA, que han sido aportados en un 85% por el Ministerio de Medio Ambiente, con ayudas del Fondo de Cohesión, y el 15% restante por el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya a través de la Agència Catalana de l'Aigua.

1.1. Fases del proyecto

Primera fase: Se está construyendo la red de colectores concentradores, la estación de pretratamiento y el emisario submarino que verterá al mar las aguas depuradas. Esta primera etapa está prevista que finalice en el año 2001 y supondrá una inversión aproximada de 22.000 millones de pesetas.

Segunda fase: Se invertirán unos 18.000 millones de pesetas y se finalizará la construcción del resto de las instalaciones. Se prevé que la depuradora esté acabada a finales del año 2002.

La planta dará servicio a más de dos millones de habitantes equivalentes que pertenecen a las poblaciones de Santa Coloma de Cervelló, Sant Boi de Llobregat, Cornellá de Llobregat, El Prat de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvem, Esplugues de Llobregat, L'Hospitalet de Llobregat y Barcelona.

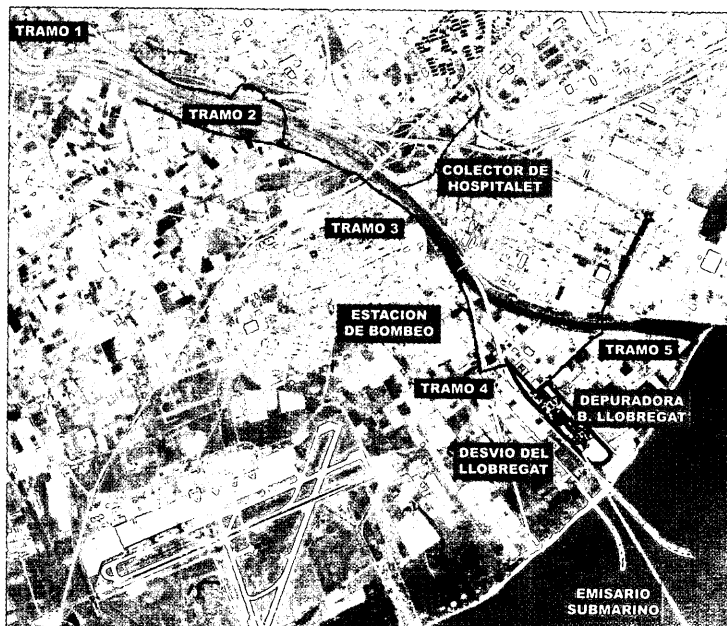
2. NECESIDAD DEL EMISARIO. DATOS DE PARTIDA Y DISEÑO

2.1. Necesidad del emisario

Las normativas comunitaria, estatal y autonómica determinan unos estándares de calidad en las aguas de baño en función de una serie de indicadores de contaminación fecal.

Las aguas procedentes de un proceso de depuración biológico y fisicoquímico de aguas residuales con una fuerte componente de contaminación urbana, como es el presente caso, incumplen manifiestamente dichos límites de calidad.

Como consecuencia, su vertido al medio marino ha de realizarse necesariamente a través de un emisario cuya situación, profundidad de vertido y sistema de difusión garantice que en los primeros 500 metros de la franja litoral se cumplan, en toda condición y circunstancia, los valores legislados de calidad microbiológica.



2.2. Datos de partida

Los parámetros básicos para el dimensionamiento del Emisario han sido los siguientes:

Caudales:

- Caudal máximo 14,58 m³/sg.
- Caudal medio = 4,86 m³/sg.

Parámetros microbiológicos en salida de depuradora:

Coliformes totales: 5 x 10⁶ por cada 100 ml
Coliformes fecales: 105 - 10⁶ por cada 100 ml
Estreptococos fecales: 101 por cada 100 ml

Estándares de calidad a conseguir en el medio receptor:

De acuerdo con la Orden de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar, publicada en el B.O.E. de fecha 27 de julio de 1993, el diseño del emisario debe asegurar la obtención de los estándares de calidad establecidos en la Normativa Comunitaria Directiva 76/160/CEE de 8 de diciembre de 1975 y en el Real Decreto sobre calidad de las aguas.

2.3. Modelos de dilución-difusión

Para el diseño del Emisario submarino se han aprovechado los resultados de dos modelos hidrodinámicos llevados a cabo el uno por DELFT y el otro por la Confederación Hidrográfica del Norte.

El modelado de la hidrodinámica marina ha sido realizado en dos dominios, uno general, con el que se han pretendido generar



las condiciones de contorno hidrodinámicas generales que gobiernan en la zona y otro específico que refleja las características hidrodinámicas del área estudiada con más detalle.

El dominio general elegido abarca la zona entre el río Tordera hasta cabo Gros y ha sido discretizado mediante una malla de 142x13 celdas, cada una con tamaño de 900x900 metros.

Para conseguir similitud con la corriente general hacia Sur-Oeste, sobre una profundidad de unos 400 metros, ha sido impuesto un máximo valor de la corriente de 25 cm/seg en verano y 35 cm/seg. en invierno, que hacia Norte y Sur ha sido amortiguado linealmente hasta 10 cm/seg. en ambos casos. El coeficiente de fricción de Manning ha sido constante para toda el área con valor de 30. Para el coeficiente de la viscosidad de remolino se ha utilizado valor constante de 15 m²/seg. el paso de tiempo ha sido de 20 segundos y la duración de la simulación de 14 días.

El dominio específico elegido abarca la zona de Barcelona y ha sido discretizado mediante una malla de 197x293 celdas, cada una con tamaño de 150x150 metros. En este dominio se han considerado dos casos -uno con una configuración del puerto actual de Barcelona y otro con la futura ampliación de este puerto.

3. MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES

Las instalaciones se construyen minimizando el impacto de las obras sobre su entorno natural y siguiendo las medidas correctoras de la Declaración de Impacto Ambiental.

Las obras se llevan a cabo respetando las condiciones que establece la Declaración de Impacto Ambiental, entre los que cabe destacar los siguientes:

- ▼ Dirección ambiental diferenciada de la dirección de obra
- ▼ Plan de vigilancia ambiental con descripción de manera precisa de todas las tareas de supervisión de los trabajos previstos en la declaración de impacto ambiental.
- ▼ Estudio detallado de la biota submarina.
- ▼ Plan de control de la afección a los acuíferos durante la ejecución.
- ▼ Estudio de la zona de influencia de los pájaros (sobre todo nidificantes) presentes en la zona ZEPA del Delta del Llobregat.
- ▼ Optimización del diseño del emisario según los estudios de dinámica litoral ligado al desarrollo del proyecto de ampliación del puerto de Barcelona.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

La construcción del emisario submarino objeto de este artículo ha sido encargada a la U.T.E EMISARIO SUBMARINO DEL BAIX LLOBREGAT, formada por NECSO entrecanales cubiertas, SATO

y ABENSUR, con unos porcentajes de participación del 45%, 45% y 10% respectivamente, con un presupuesto de unos 4.500 millones de pesetas.

Se trata de una tubería de hormigón armado con camisa de acero de 2,40 m de Ø interior y 3 m de Ø exterior de 3.745 m de longitud total, de los cuales 3.200 m corresponden al tramo marino, dentro de los cuales se incluye una zona de difusores de 600 m de longitud entre las batimetrías 45 y 60 m. Dicha zona de difusión está compuesta por 13 difusores de cuatro bocas separadas entre sí 50 m. Está diseñado para desaguar hasta 15 m³/seg.

4.1. Principales magnitudes

Chapa de acero de 17 mm de espesor y 2,40 m de diámetro	3.745 ml
Revestimiento de epoxi (min. 0,4 mm)	26.940 m ²
Revestimiento externo de polietileno (min. 3 mm)	27.321 m ²
Hormigón H35/B/20/H1b SR.....	12.825 m ³
Acero para armado.....	1.100.000 kg.
Escollera para formación de diques de abrigo	16.660 m ³
Dragado.....	348.391 m ³
m ² de entibación mediante tablestacas	12.240 m ²

5. PROCESO CONSTRUCTIVO

Las obras tienen dos partes claramente diferenciadas, las que realizan en tierra (fabricación de los tubos y ejecución de las barras) y las marítimas (apertura de la zanja y lanzamiento del emisario).

La fabricación de los tubos de un emisario es probablemente una de las fases más delicadas y difíciles, ya que es imprescindible conseguir una precisión poco habitual en el mundo de la ingeniería civil. La razón de dicha exactitud reside en que el peso del tubo sumergido (y lleno de aire) ha de ser cercano a los 120 kg por m¹ para poder, por un lado, arrastrar la totalidad del tubo con una fuerza aceptable (en este caso, 120 x 3.573 m = 429 Ton), y por otro, evitar la flotación o el peso escaso que dificulte la colocación al verse muy afectado por las corrientes marítimas. Teniendo en cuenta que el peso por metro del tubo (en seco) es de cerca de 7.700 kg, se puede comprender que un incremento de peso del 1% (77 kg) supone un incremento del peso sumergido y por tanto, de la fuerza de tiro, de un 64%, lo cual es inadmisibile.

Los moldes han de ejecutarse con gran precisión y han de ser bastante rígidos para evitar deformaciones y abolladuras; asimismo, han de contar con soportes para los vibradores de contacto, que garantizan una buena calidad superficial.

El procedimiento de fabricación del tubo está basado en el sistema de moldeo vertical. Este sistema, muy utilizado en la fabricación de tubos de calidad de hormigón armado con camisa de chapa, para reducir tiempos de desencofrado y movimiento de los tubos se cura el hormigón con vapor.

5.1. Fabricación de los componentes

5.1.1. Camisa de chapa

Está fabricada a partir de bobinas de acero X-52, soldada a tope automáticamente y por arco eléctrico inmerso en un fluido sólido (SAW). Dicho cordón se controla al 100% por ultrasonidos. Asimismo se realiza una prueba hidráulica al 90% del límite de elasticidad del acero, además de las pruebas pertinentes (limpieza de superficie, adhesión).

Se protege exteriormente con una capa de 3 mm de espesor de polietileno e interiormente con un revestimiento de 400 μ de epoxi.

5.1.2. Armaduras

La armadura se elabora con una maquinaria especial diseñada a tal efecto. Esta se alimenta por bobinas de acero (que formarán la armadura transversal) y barras cortadas a la medida de los módulos (longitudinal). Simultáneamente a la formación se van dando puntos de soldadura para asegurar la rigidez.

5.2. Fabricación del tubo

5.2.1. Preparación del hormigón

En la estación de hormigonado ubicada bajo el alcance de la grúa torre se procede a la preparación del hormigón mediante un riguroso control en peso de cada uno de los componentes principales: gravas, arenas y cemento; y en volumen del aditivo. El hormigón obtenido se bombea mediante bomba convencional, al mismo tiempo se ponen en marcha los vibradores del molde repartidos en el exterior del mismo. La duración de la fase de hormigonado es inferior a 1 hora.

5.2.2. Curado del tubo

Una vez terminado de llenar el tubo se para totalmente la vibración. Se deja 1 hora en reposo, y posteriormente se aplican 3 horas de vapor. Transcurridas las 3 horas, se deja 2 horas más y se procede a la extracción del molde abriendo la costura y tomándolo por medio del pórtico grúa con el mismo balancín del montaje. Se dispone en la zona de limpieza para la misma y aplicación posterior de desencofrante para su reutilización.

5.2.3. Extracción del tubo

Tras su fabricación, se procede mediante el pórtico dotado de palomier especial y collarín a la extracción del tubo de su base llevándolo a la zona de acopio dispuesta bajo el radio de acción de aquél posteriormente se llevará al volcador para su inmediato volteo. Durante esta operación se pesan los tubos mediante un dinamómetro instalado en el puente grúa, controlando - así la fuerza necesaria para el posterior lanzamiento del emisario.

5.3. Ejecución de las barras

5.3.1. Área de ejecución de barras.

Integrada por una línea con dos carriles coincidente con la alineación principal de tiro del emisario, sobre los cuales se apoyan y pueden desplazarse 32 carritos en total. En ella se efectúan los trabajos de soldadura de tubo a tubo y tiene capacidad para acoger

16 tubos, es decir, para hacer barras de 144 m. Cuenta con una pendiente longitudinal descendente del 2,18%.

5.3.2. Área de acopio de barras.

Consta de 24 muretes de hormigón atinado de soporte, cada uno de unos 100 m de longitud, siendo capaces de almacenar un máximo de 25 barras de 144 m. Sobre dichos muretes se ruedan las barras desde la línea de fabricación mediante la ayuda de dos cabrestantes de 40 t situados en el exterior del parque.

5.3.3. Sistemática de montaje.

Los tubos se sitúan sobre carritos. De esta manera se encaran las camisas de chapa y se sueldan. Mientras se procede a la terminación de dicha soldadura, se trae con el pórtico grúa al siguiente tubo, que se enfrenta y encara de igual forma que el primero. Se repite el proceso a razón de 5 uniones completas por día. Una vez realizada la barra, se levanta de los carritos mediante las correspondientes vigas de izado, accionadas de forma sincronizada por un sistema de gatos hidráulicos, para levantar la barra paralelamente, minimizando de esa forma sus deformaciones.

Posteriormente mediante la acción de dos cables de acero guiados por sendos cabrestantes ubicados en el lado opuesto del parque de acopio de barras se procede al desplazamiento de la barra sobre los muretes de apoyo hasta su posición prevista en el acopio.

5.4. Dragado y lanzamiento del emisario

5.4.1. Entibación mediante tablestacas

Desde la zona de acopio de barras hasta la línea de costa debe realizarse un canal de unos 500 m de longitud, entibado mediante 12.240 m² de tablestacas. En el interior de la zanja se dispondrán unas estructuras metálicas que permitirán, mediante rodillos de 80 t, el acceso de la tubería al lecho de la zanja.

5.4.2. Dragado

El dragado de la zanja se llevará a cabo mediante dragas de succión en **marcha, para** conseguir la sección prevista de 15 m en base de excavación y además llegar a una cota de dragado máxima de 50 m. de profundidad.

Esta previsto emplear dos dragas de succión en marcha que actuarán una de ellas desde 150 metros de la orilla hasta 1.000 m y la otra desde 1.000 m hasta el final del emisario. La zona de rompiente desde 0 m hasta los 150 se hará con una draga cortadora. La profundidad de la zanja en la orilla es de 8 m, por lo que el emisario lleva un recubrimiento sobre su generatriz superior de 5 m de arena.

El tener que dragar a -50 m de profundidad exige emplear dragas altamente especializadas, con una reducida oferta de barcos capaces de llevarlo a cabo.

El material dragado se acopia en el fondo marino en una zona próxima a la traza del emisario, a una profundidad de 12 m.

5.4.3. Lanzamiento

La maniobra de lanzamiento del emisario es la más delicada de las que se va a llevar a cabo. Se introduce como novedad del lanzamiento por arrastre, la incorporación de difusores con las válvulas antiretomo colocadas.

Se realizará principalmente con la pontona DINA-M de 60 x 22,40 m de planta, con una capacidad total de tiro continuo de 500 t. Esta pontona lleva como barco auxiliar al Katlitz de 40 x 12 m, el cual se encargará del posicionamiento de anclas de la pontona.

Una vez posicionada a 6 km de la costa, la DINA-M soltará anclas a 105 m de profundidad. Una vez superado el test de esfuerzo, se acercará a la costa mediante un remolcador, soltando los cables hasta llegar a unos 300 m de la costa, dónde se situará para iniciar la maniobra de tiro. Previamente, sin embargo, se habrán colocado los cables de unión de diámetros comprendidos entre 84 y 120 mm entre la pontona y el cabezal de tiro del emisario.

La pontona de tira de la primera barra que dispone del cabezal del tiro al cual está enganchado el cable de lanzamiento, la barra avanza sobre los carritos hasta introducirse en el fondo de la zanja terrestre, avanza los 144 m que tiene de longitud, a continuación se hace rodar hasta la rampa de lanzamiento la siguiente barra; se procede a la soldadura de esta segunda barra con la ya lanzada, se completa la unión con la colocación de las armaduras y hormigonado de la junta. Al día siguiente se procede al tiro de las 2 barras unidas y se repite el proceso de hacer rodar la Y barra y unirla a las dos ya lanzadas y se continua el proceso hasta finalizar la colocación de la totalidad de las barras. La DINA-M con el cabrestante hace una tirada al día (144 rul); esto viene condicionado por el hecho de que es preciso soldar la camisa de unión, comprobar su bondad, corregir (en su caso), ferrallar, hormigonar y curar.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DINA-M

- ▼ 4 Cabrestantes de 125 t (fuerza total 500 t)
- ▼ Dimensiones 60 x 22,40 x 4 m
- ▼ 4 anclas y 8 puntos de amarre

Grúa elevadora de 4100 W tipo Manitowoc con capacidad máxima elevadora de 350 t.

5.4.4. Protección de la zanja durante el lanzamiento

Uno de los aspectos que presentaba mayor dificultad del proyecto era garantizar la estabilidad de la zanja excavada, y en particular, evitar la sedimentación de la misma durante los periodos de ex-

cavación de la zanja y tiro de la tubería debido principalmente al reducido tamaño del sedimento (arenas finas) y la intensa dinámica sedimentaria que tiene lugar en la zona de rompientes, desde el PKO al PK+200.

Para ello se estudió con detalle el clima marítimo de la zona (oleaje y corrientes) durante los meses previstos de excavación de la zanja (abril-mayo) y tiro del emisario (mayo-junio) y las tasas de sedimentación en la zanja. Mediante el uso de complejos modelos numéricos de simulación hidrodinámica se determinó, para un conjunto de alternativas, las características del oleaje, circulación costera y transporte de sedimentos (por fondo y por suspensión).

Las conclusiones del Estudio apuntaron que era imprescindible la protección de la zanja desde el PKO hasta el PKI 50, donde se obtenía valores de la sedimentación superiores a 1 m/mes para la zanja definida inicialmente en proyecto (base de 15 m y taludes 1:3), para lo cual se han contruido 2 espigones con escollera de 500 kg de peso medio, de 150 m de longitud, a una distancia de 50 m a ambos lados de la zanja.

5.5. Relleno de la zanja del emisario

Una vez finalizada la operación de lanzamiento y habiendo previamente inundado la tubería, con una draga de succión en marcha se cargará el material del acopio procedente del dragado y se verterá sobre la zanja.

Finalmente se procederá a la colocación de una boya de balizamiento con una altura foca] de 2,5 m que indique el final del emisario.

6. CONCLUSIÓN

El cometido principal del emisario submarino del Baix Llobregat es el de garantizar la calidad de las aguas de baño del litoral comprendido entre el puerto de Barcelona y el macizo del Garraf, es, por tanto, una pieza fundamental dentro de las infraestructuras de saneamiento de las comarcas del Barcelonés y del Baix Llobregat.

La calidad de las aguas de baño queda asegurada gracias a las condiciones del emisario en cuanto a diámetro, longitud y profundidad (será el emisario con la zona de difusión más profunda y el de mayor capacidad hidráulica en España).

Son precisamente sus características geométricas las que obligan a emplear para su construcción medios marítimos altamente especializados, con una limitada concurrencia de posibilidades de barcos capaces de poder llevar a cabo las operaciones de dragado y lanzamiento del emisario.

La ejecución de la obra está prevista llevarla a cabo en un plazo de 14 meses, incluyendo las operaciones previas terrestres de acondicionamiento del terreno mediante precarga que lo consolide, el montaje de la planta de prefabricación de las tuberías y la propia fabricación de las tuberías y parque de barras. Se han empleado en estas operaciones terrestres 6 meses, estando previsto 8 meses más para todas las operaciones marítimas de dragado, lanzamiento y relleno de la zanja de ubicación del emisario submarino.

Todos los procesos se hacen respetando las medidas correctoras indicadas en la Declaración de Impacto Ambiental, disponiendo de una Dirección Ambiental independiente de la Dirección de Obra.

Está prevista su puesta en funcionamiento a principios del año 2002 juntamente con la estación de pretratamiento de la Depuradora del Baix Llobregat, lo que supondrá una importante mejora ambiental en el tramo final del río Llobregat y en el litoral próximo a su desembocadura. ■

