

Estación de bombeo del área industrial del puerto de Sohar (Omán)

Sea Water Intake Pumping Station II for Sohar Industrial Port Area (SWIPS II)

Víctor Elviro García¹, Mario Quiñonez Alonso², Juan José Rebollo Cillán^{*}, Lourdes Angulo Teja², Lucía Turrero Ruiz¹, María Alcaraz Boscà², Ricardo Herrero Santos¹, Roberto Carlos Martínez García¹

Palabras clave

estación de bombeo;
vorticidad; SWIPS;
modelo físico;
comportamiento hidráulico;

Resumen

Este artículo presenta los trabajos asociados al diseño, estudio en modelo físico y construcción de la Estación de bombeo N°2 (SWIPS II en inglés) en el puerto industrial de Sohar, en el Sultanato de Omán. Esta nueva instalación ha contado con numerosas singularidades, tanto de diseño como de dimensiones, siendo una de las estaciones con mayor capacidad de bombeo de Oriente Medio al alcanzar los 400.000 m³/h. Todas las fases del proyecto y su posterior construcción han sido coordinadas y dirigidas por la empresa española TÉCNICAS REUNIDAS SA y la belga SIXCO, que ha contado con la asistencia del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX para la realización de un estudio hidráulico en modelo físico de la SWIPS II.

Keywords

pumping station; vorticity;
SWIPS; physical model;
hydraulic behaviour;

Abstract

This article summarizes all the activities with regard to the designing, physical model study and building of the Sea Water Intake Pumping station II at Sohar industrial port area (SWIPS II), in the Sultanate of Oman. The new station shows different singularities both in design and capacity, being a station with higher pumping capacity in the Middle East (400.000 m³/h). Both the project steps and construction have been led by the Spanish company TÉCNICAS REUNIDAS SA and Belgian SIXCO, which have been supported by the Hydraulic Laboratory of CEDEX to develop a physical model of SWIPS II.

1. INTRODUCCIÓN

TÉCNICAS REUNIDAS SA ha llevado a cabo, junto con SIX CONSTRUCT al 50%, el diseño y construcción de la Estación de bombeo de agua de mar N° 2 (SWIPS II en inglés) en el puerto industrial de Sohar (Sultanato de Omán), siendo su promotor la empresa/ente público Majis Industrial Services S.A.O.C.

Los trabajos se desarrollaron desde el 19 de diciembre de 2013 al 2 de abril de 2016 (27 meses), siendo el contrato en la modalidad EPC con puesta en marcha (Engineering Procurement & Construction and Commissioning) y cuyo valor ascendió aproximadamente a 72.000.000 US\$. El contrato se formalizó para una estación de bombeo de 320.000 m³/h con 19 bombas y 9 líneas de filtrado grueso y fino. Posteriormente, habiendo transcurrido 4 meses del contrato, el cliente extendió la capacidad de la estación de bombeo a 400.000 m³/h con 25 bombas y 11 líneas de filtrado grueso y fino.

Desde el punto de vista del proyecto, la modificación llegó cuando los trabajos de diseño de la estación de bombeo se encontraban en un estado bastante avanzado de los modelos matemático y físico, este último había sido contratado al Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios

Hidrográficos del CEDEX. El primero se encontraba en la etapa de evaluación de resultados y optimización, mientras que en el modelo físico se había comenzado con los trabajos de construcción. Para hacer frente a la modificación que suponía la ampliación de la capacidad de bombeo, se tuvo que adaptar ambos modelos de la SWIPS II al nuevo diseño para el proyecto final, teniendo que ser ejecutado en el mismo plazo que se disponía anteriormente.

En cuanto a la construcción, la ampliación de la estación de bombeo se debía realizar en mismo plazo de ejecución que el proyecto original, teniendo que ajustar tanto los programas constructivos como el aprovisionamiento de todos los equipos del proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA PROYECTADA

Las instalaciones a realizar en la SWIPS II, con una capacidad total de bombeo de 400.000 m³/h, están compuestas por 25 bombas de 20.000 m³/h cada una (20 en servicio y 5 en reserva) y 11 líneas de filtrado grueso y fino con una capacidad unitaria de 40.000 m³/h, estando 10 líneas en operación de manera simultánea y una en parada. El conjunto de la obra cuenta con unas dimensiones globales de 118 m x 62 m x 13 m, siendo necesario un volumen total de hormigón de 25.152 m³ para su construcción.

Previamente al bombeo, es necesario clorar el agua de mar con una dosis aproximada de 2 ppm para asegurar un cloro residual de 0,4 a 0,8 ppm. En este sentido, los trabajos también han incluido la construcción de una planta de

* Autor de contacto: juan.j.rebollo@cedex.es

¹ Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Madrid, España.

² Técnicas Reunidas, S. A., Madrid, España.

electrocloración con una capacidad de 750 kg/h (figura 1), compuesta por seis líneas de producción de 125 kg/h cada una y una superficie cubierta de 1.290 m².



Figura 1. Planta de electrocloración asociada a la SWIPS II.

También se han construido un conjunto de edificios de servicios anexos a la estación y que albergan la subestación eléctrica, los talleres, una sala de conferencias y restaurante, un edificio de oración y el depósito de compuertas, todo ello con una superficie total de 2.267 m² (411 + 401 + 760 + 250 + 445).

Por último, asociada al conjunto de instalaciones, se ha ejecutado la urbanización de la obra mediante calles y sistemas de drenaje e iluminación para una superficie total de 25.222,60 m².

3. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO MEDIANTE MODELO FÍSICO A ESCALA REDUCIDA

En base a la información del proyecto constructivo y del modelo numérico CFD de la SWIPS II desarrollados por TÉCNICAS REUNIDAS, se diseñó el modelo físico a escala 1/15 y se definieron las condiciones de contorno e iniciales para asegurar una correcta representatividad del estudio a escala reducida. Fundamentalmente, el objeto del modelo ha sido determinar potenciales problemas en el funcionamiento de la estación debido a efectos de flujo adverso, haciendo mayor hincapié en el análisis de vorticidad del entorno de las cámaras de bombeo. Un mal funcionamiento del flujo en esta zona supondría un descenso del rendimiento de la capacidad de succión. Este estudio también incluye un conjunto de propuestas al diseño original realizadas por el CEDEX y TÉCNICAS REUNIDAS para mitigar fenómenos hidráulicos no deseables en el entorno de las cámaras (inclusión de diferentes geometrías de pilas y muros en las bahías de distribución y cámaras). Los principales aspectos del estudio en modelo físico se resumen a continuación:

- Análisis y optimización, si fuera necesario, de la distribución del flujo en las cámaras de la estación de bombeo
- Comprobación de la entrada de flujo en las cámaras de bombeo
- Eliminación de los fenómenos de vorticidad en las cámaras y su entorno

- Monitorización del flujo de entrada mediante trazadores en todas las cámaras en funcionamiento y bajo diferentes escenarios
- Estudio de las velocidades del flujo y capacidad de succión de las bombas bajo tres niveles de funcionamiento en función de la marea, caudales y combinación de bombas en servicio

La construcción y estudio del modelo físico se ha llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, en base al convenio suscrito con TÉCNICA REUNIDAS para la elaboración de estos trabajos

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO FÍSICO

Este apartado incluye todas las fases que se han llevado a cabo para que el modelo físico sea operativo, incluyendo diseño y consideraciones previas, construcción, instrumentación y calibración.

4.1. Escala del modelo físico

La principal relación que hay que tener en cuenta para asegurar la representatividad del modelo físico es el número de Froude, que garantiza la relación adimensional entre las fuerzas de inercia y las gravitacionales [1].

$$F = \frac{u}{\sqrt{gL}} \quad [1]$$

donde u es la velocidad, g representa el valor de la gravedad y L hace referencia a la longitud característica.

De este modo, el número de Froude tiene que ser igual en el modelo y el prototipo para alcanzar una semejanza en el comportamiento y los patrones de flujo [2]:

$$F_m / F_p = 1 \quad [2]$$

(donde m and p representan el modelo y prototipo)

En este caso, donde los fenómenos de vorticidad tienen una gran importancia, el modelo físico reproduce un comportamiento similar cuando el número de Reynolds del flujo es mayor que un valor crítico impuesto por la escala geométrica. En estudios con fenómenos de vorticidad como este, es necesario alcanzar un número de Reynolds mayor de 30.000 para eliminar los efectos de la viscosidad turbulenta a escala y reproducir correctamente el comportamiento del flujo (apartado 9.8.5.3 de la normativa American National Standard for Pump Intake Design ANSI/HI 9.8-1998).

Teniendo en cuenta este aspecto, junto a otra serie de consideraciones económicas y de organización del laboratorio, se ha seleccionado como adecuada la escala geométrica 1/15 para el modelo. El parámetro de Reynolds en modelo es de 69.000, valor suficientemente por encima del criterio mínimo para mantener las condiciones turbulentas adecuadas del flujo y asegurar la no influencia de las fuerzas viscosas en los fenómenos a estudiar. Esto implica que la distorsión introducida no afecta la representatividad de los resultados obtenidos en el modelo.

La escala geométrica del modelo físico está definida como $\lambda_L = L_m / L_p$. De acuerdo con la escala geométrica y la semejanza de Froude, las siguientes escalas representan otras magnitudes importantes durante la fase de experimentación:

Longitud	$\lambda_L = 1/15$
Superficie	$\lambda_S = 1/15^2 = 1/225$
Tiempo	$\lambda_t = 1/\sqrt{15} = 1/3,87$
Velocidad	$\lambda_v = 1/\sqrt{15} = 1/3,87$
Caudal	$\lambda_Q = 1/15^{5/2}$

Teniendo en cuenta las anteriores ecuaciones y considerando la escala geométrica definitiva (1/15), los caudales finales asociados al proyecto aparecen en la tabla 1:

Tabla 1. Rango de caudales impuestos en modelo y prototipo

	Caudal en prototipo (m ³ /h y m ³ /s)	Caudal en modelo (m ³ /h y l/s)
Caudal Total	400.000 m ³ /h - 111,11 m ³ /s	459 m ³ /h - 127,50 l/s
Caudal Unitario	20.000 m ³ /h - 5,55 m ³ /s	22,95 m ³ /h - 6,37 l/s

4.2. Diseño

El modelo físico de la SWIPS II incluye los siguientes elementos:

- Una arqueta de entrada de caudal conectada al sistema de alimentación general del Laboratorio de Hidráulica
- Un tanque de abastecimiento que simula la bahía de entrada de la estación
- El canal de entrada de la estación
- La entrada de distribución de caudales
- Once canales de filtrado con dos líneas de screens o pantallas (SC)
- Cinco bahías de distribución (DB)
- Veinticinco cámaras de succión (PC)
- Una arqueta de retorno para recoger el caudal procedente de las 25 bombas y el excedente del tanque de abastecimiento en la entrada de la estación

Las siguientes figuras describen el diseño final del modelo físico que fue construido en el Laboratorio de Hidráulica y la distribución de todos sus elementos.

El tanque de abastecimiento ha sido diseñado para reproducir con exactitud el flujo de entrada a la estación y cuenta

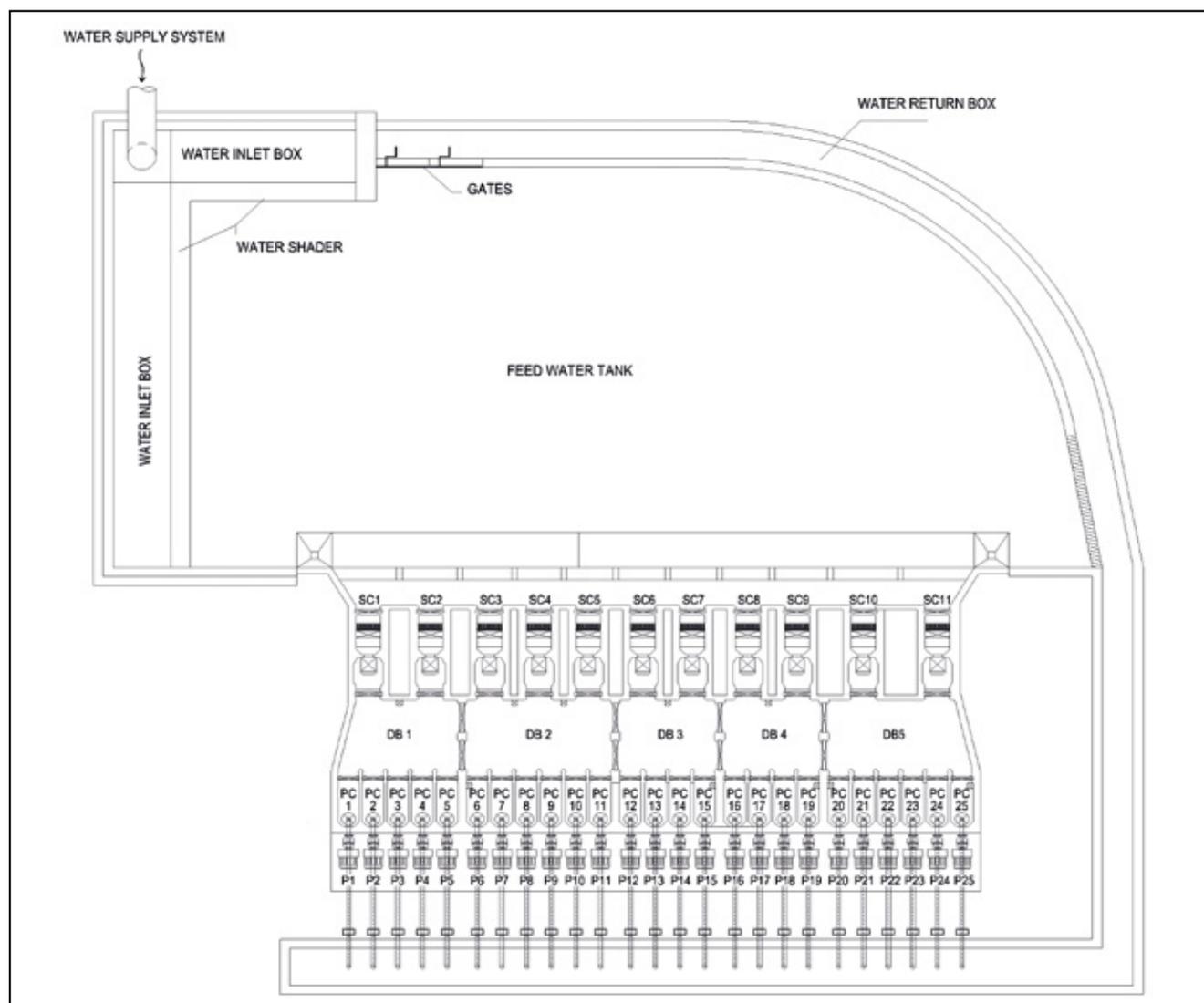


Figura 2. Diseño del modelo físico de la SWIPS II para un caudal total de 400.000 m³/h.

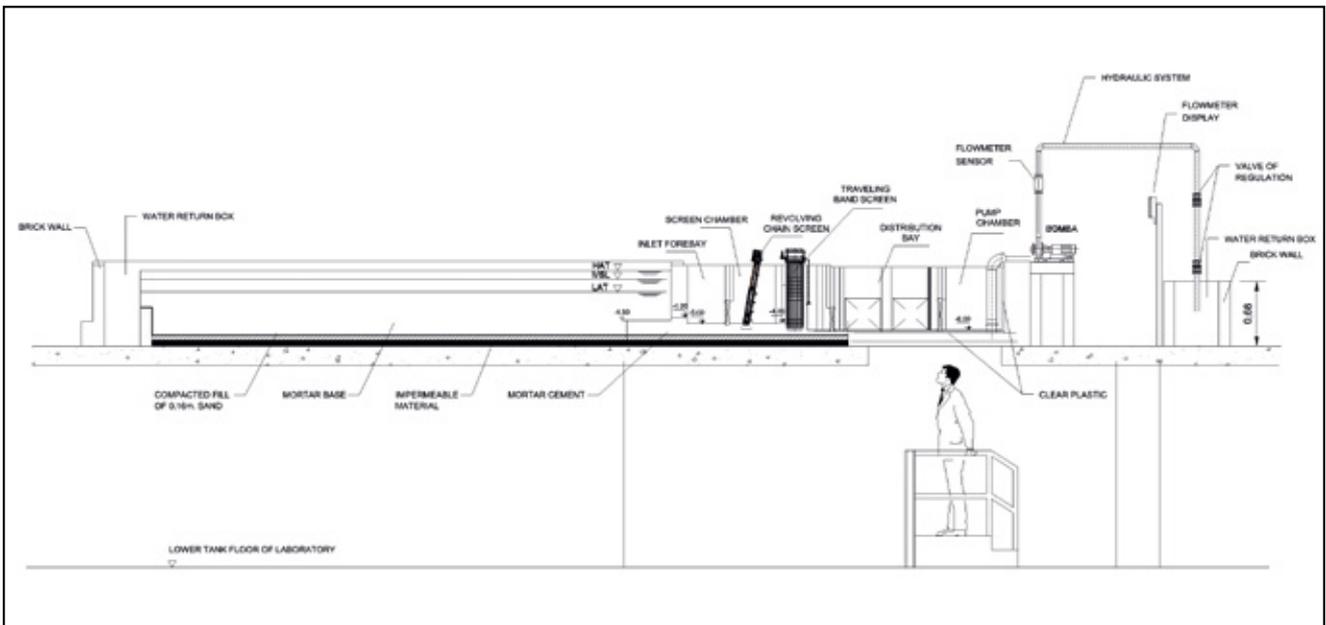


Figura 3. Sección longitudinal del modelo físico de la SWIPS II.

con suficiente área para eliminar los errores producidos por los efectos de escala. También cuenta con contorno ajustable en altura para poder simular diferentes niveles de marea: 0,00 m.s.n.m. (LAT), 2,0 m.s.n.m (MSL) y 3,4 m.s.n.m (HAT).



Figura 4. Vista general del modelo físico.

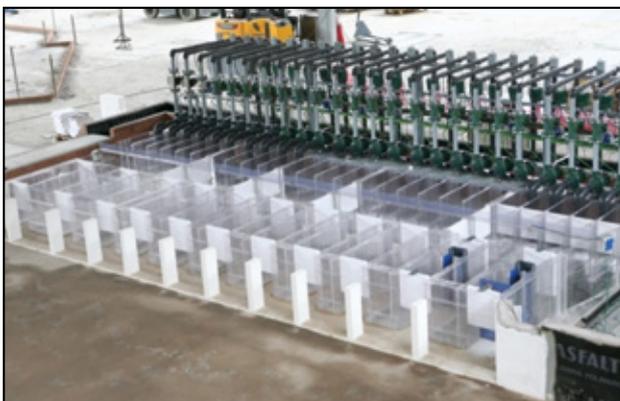


Figura 5. Vista frontal de la entrada a la SWIPS II.



Figura 6. Organización del conjunto de elementos que componen el modelo físico.

4.3. Instrumentación

El modelo físico de la SWIPS II ha sido equipado con la instrumentación necesaria para monitorizar el flujo y medir las variables hidráulicas fundamentales:

- 25 bombas y caudalímetros electromagnéticos para asegurar los caudales de ensayo correctos
- 36 limnómetros de ultrasonidos para obtener los niveles en todos los escenarios
- 2 sondas ADV para caracterizar el campo de velocidades en el entorno de las cámaras de bombeo bajo diferentes condiciones

Toda la instrumentación ha sido centralizada en un único equipo desde donde se ha realizado una monitorización global y la captación y almacenamiento de todos los datos. La figura 7 muestra la distribución de equipos de medida en el modelo físico.

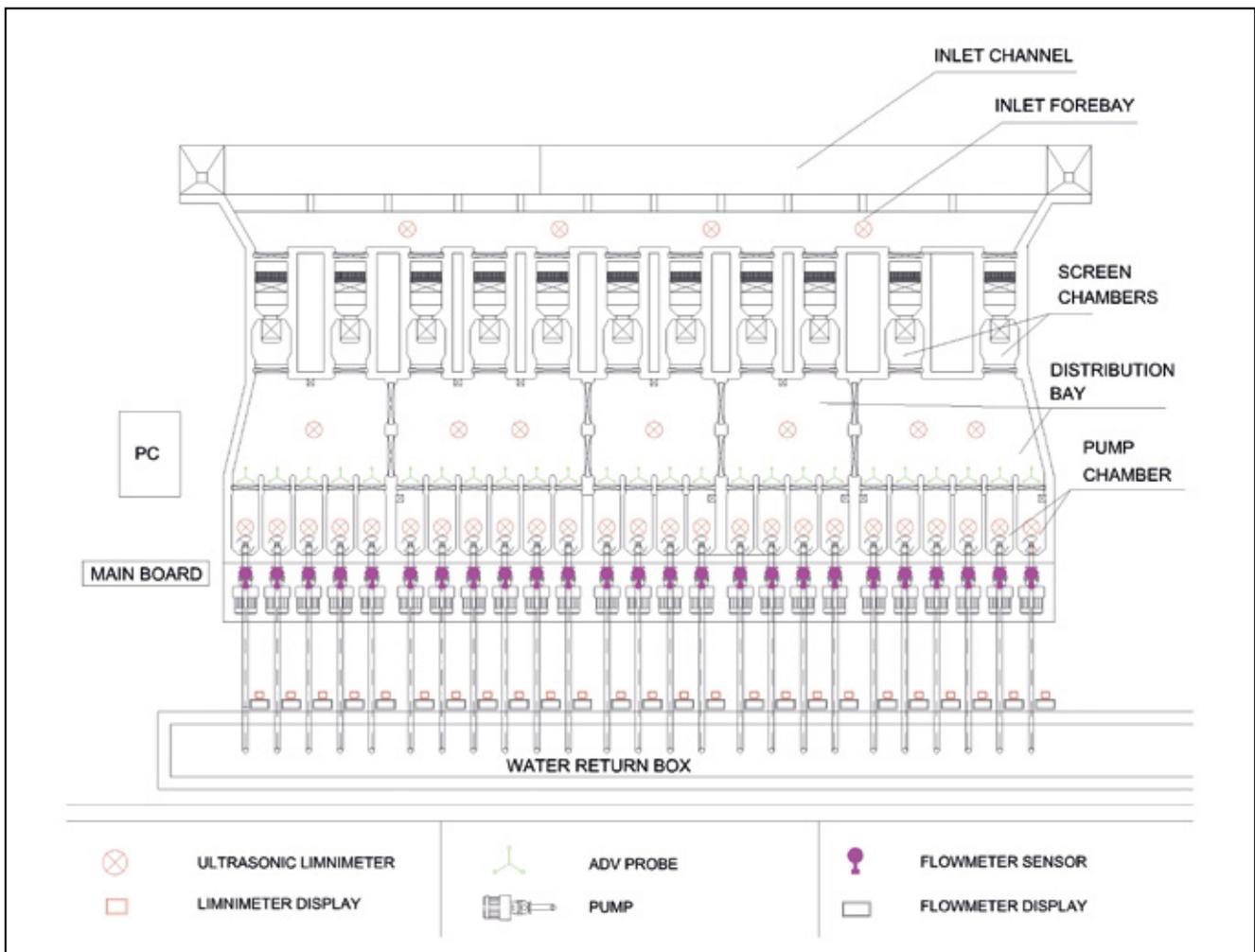


Figura 7. Localización de los equipos de instrumentación en el modelo físico.

4.4. Calibración

Antes de iniciar la fase de experimentación, se llevaron a cabo diferentes pruebas de calibración para asegurar que las condiciones de contorno del modelo físico estaban correctamente definidas. En este sentido, fue necesario verificar que la pérdida de carga generada por los screens en los canales de filtrado (Travelling Band y Revolving Chain Screens) se correspondían con las especificaciones del proveedor, que se fijaba en 0,5 m para un caudal de 40.000 m³/h a escala de prototipo (dos bombas en funcionamiento). Para alcanzar este valor (3,33 cm a escala 1/15), se simulon diferentes mallas prefabricadas hasta conseguir una pérdida de carga estable (figuras 8 y 9).

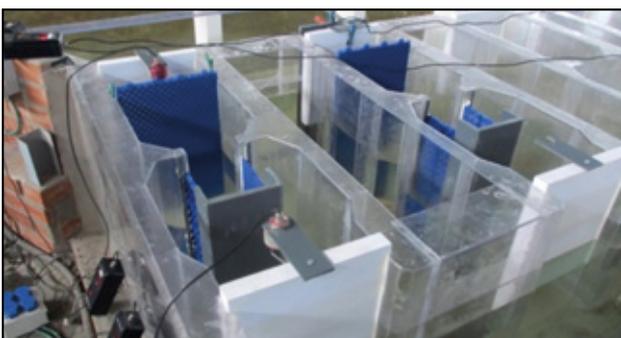


Figura 8. Configuración del ensayo de calibración y pérdida de carga generada (3,33 cm).

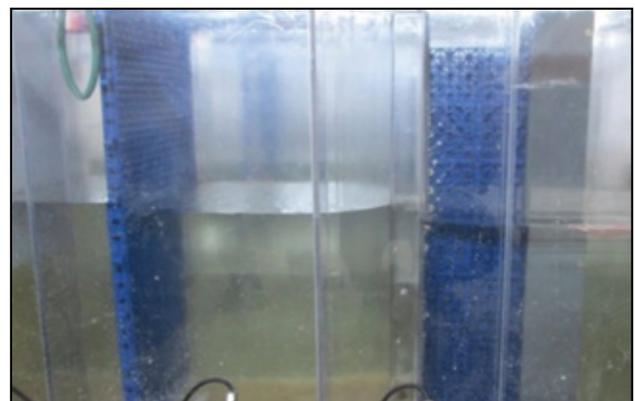


Figura 9. Pérdida de carga generada (3,33 cm) en el modelo físico durante el ensayo de calibración.

5. PROGRAMA DE ENSAYOS Y RESULTADOS FINALES

Una vez concluido el diseño original y la construcción del modelo físico de la SWIPS II, se planificó la fase de experimentación y toma de datos en base a un programa de ensayos definido previamente. El objeto de esta planificación era obtener los datos más relevantes de las variables asociadas al comportamiento del flujo durante el funcionamiento de la estación, al tiempo que se optimizaban los recursos y equipos instrumentales. En cada ensayo se ha reproducido una configuración diferente con 20 bombas en funcionamiento (400.000 m³/h) y un screen cerrado.

Además, se ha ido modificando la geometría de la estación con elementos adicionales como pilas y muros para mejorar el comportamiento hidráulico del flujo. En base a estos criterios, el programa ha sido dividido en tres categorías:

- Extent Tests (ET): Este grupo constituye el núcleo principal de la campaña y tiene como objeto una correcta verificación del comportamiento de la SWIPS II con diferentes configuraciones (figuras 10, 11 y 12). En función de los elementos geométricos incluidos, los ensayos se agrupan en otras tres subcategorías (ET-I, ET-II y ET-III).
- Extent Additional Tests (EAT): Estos ensayos persiguen una comprobación adicional del comportamiento del flujo bajo diferentes configuraciones y modificaciones geométricas que no se han tenido en cuenta en la campaña anterior.
- Extent Complementary Tests (ECT): Esta colección de ensayos reproduce tres situaciones excepcionales cuyo objetivo es comprobar el comportamiento de la estación bajo condiciones extraordinarias y accidentales: un incremento de caudal del 10% y una parada súbita del sistema con niveles de marea de 0,00 y 3,40 m.s.n.m.

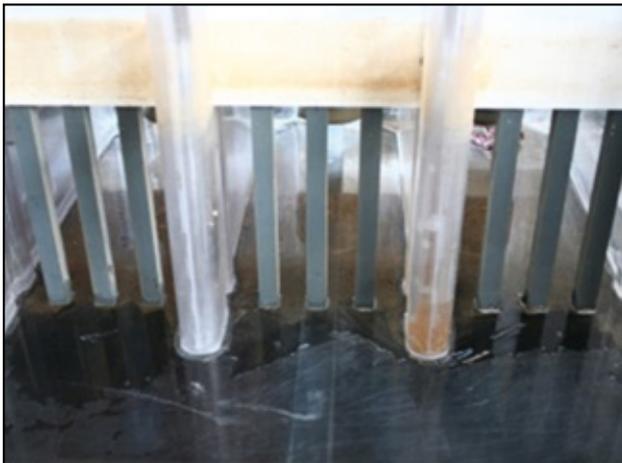


Figura 10. Geometrías adicionales incluidas en el ensayo ET-I.



Figura 11. Geometrías adicionales incluidas en el ensayo ET-II.

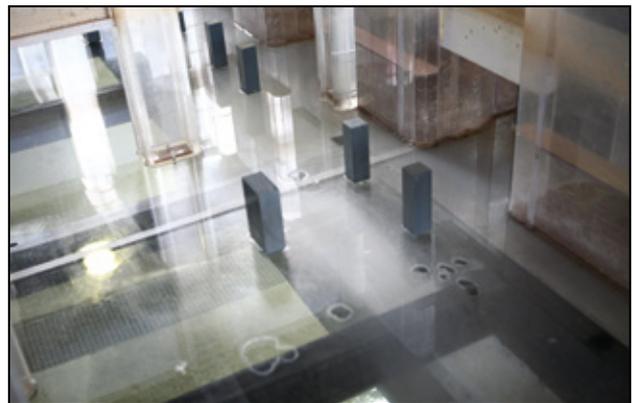


Figura 12. Geometrías adicionales incluidas en el ensayo ET-III.

En cuanto a los resultados obtenidos, las siguientes tablas y figuras muestran los valores medios registrados durante el programa de ensayos ET para las principales variables de flujo: niveles, velocidades y patrones de flujo en las cámaras de bombeo y en el entorno de la campana de succión. Debido a la multitud de ensayos que se realizaron bajo múltiples configuraciones (se ensayaron tres geometrías distintas tal y como se muestra en las figuras anteriores), se ha seleccionado como más representativo para este artículo el ensayo 8.1, en el que se encuentran fuera de servicio las bombas 3, 4, 15, 16 y 24 y el screen 3, siendo el nivel de marea LAT (0,00 m.s.n.m.).

Tabla 2. Niveles medios en las cámaras de bombeo para los ensayo ET-8.1 (m de prototipo)

Bomba	ET-I-8.1	ET-II-8.1	ET-III-8.1	Bomba	ET-I-8.1	ET-II-8.1	ET-III-8.1
PC1	-0,77	-0,79	-0,80	PC14	-0,76	-0,79	-0,81
PC2	-0,77	-0,82	-0,83	PC15			
PC3	-0,78	-0,84	-0,83	PC16			
PC4				PC17	-0,76	-0,79	-0,81
PC5				PC18	-0,76	-0,81	-0,79
PC6	-0,80	-0,82	-0,82	PC19	-0,76	-0,80	-0,80
PC7	-0,79	-0,81	-0,81	PC20	-0,78	-0,83	-0,82
PC8	-0,78	-0,80	-0,81	PC21	-0,73	-0,76	-0,77
PC9	-0,77	-0,80	-0,81	PC22	-0,80	-0,82	-0,82
PC10	-0,77	-0,80	-0,82	PC23	-0,79	-0,81	-0,82
PC11	-0,78	-0,80	-0,81	PC24			
PC12	-0,76	-0,79	-0,81	PC25	-0,79	-0,80	-0,81
PC13	-0,77	-0,79	-0,80				

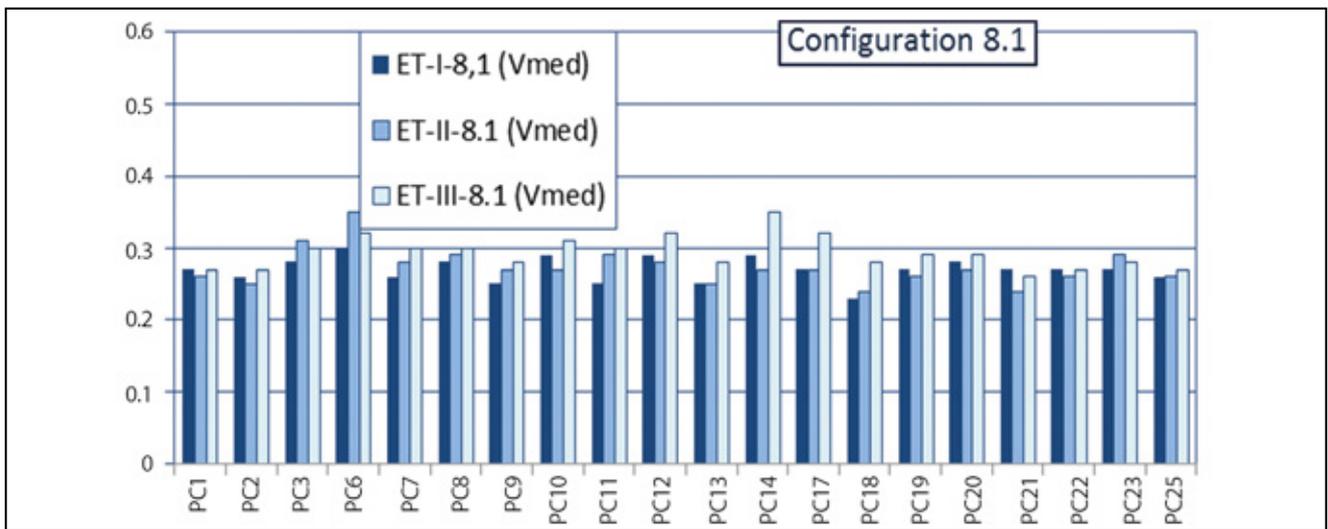


Figura 13. Velocidades medias en la cámara de bombeo para la configuración 8.1 durante el programa de ensayos ET (m/s en prototipo).

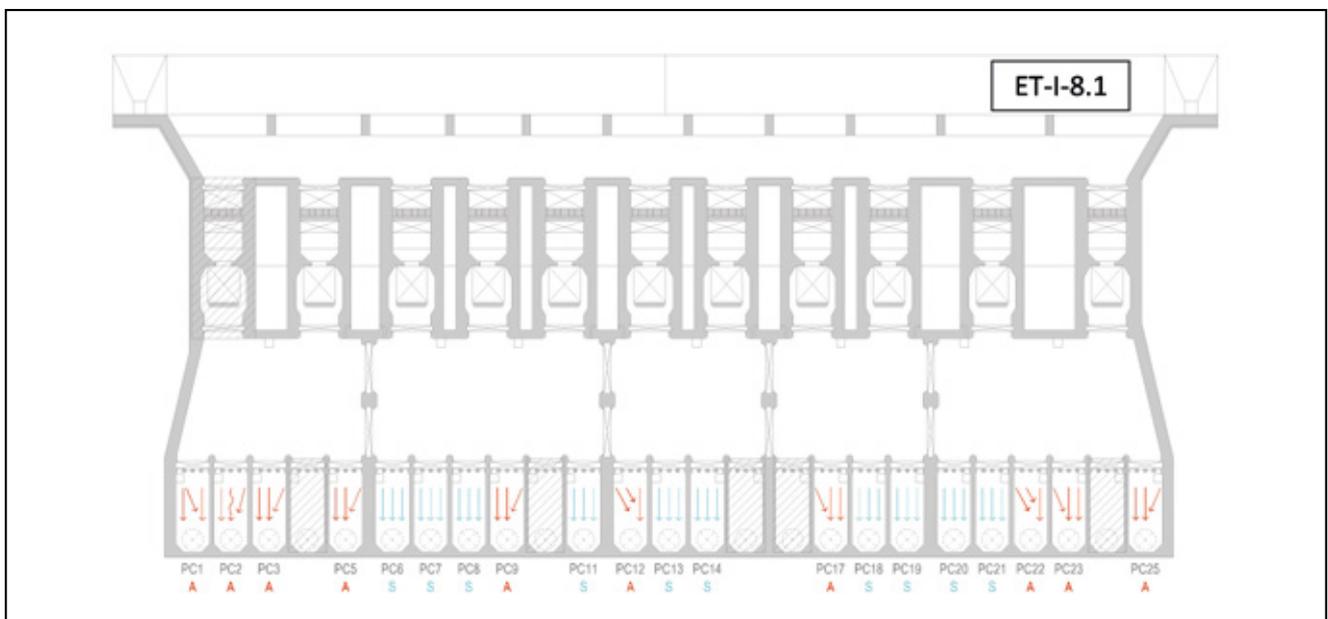


Figura 14. Patrones de flujo en las cámaras de bombeo (rojo = aceptable / azul = estable) para la configuración ET-I-8.1.

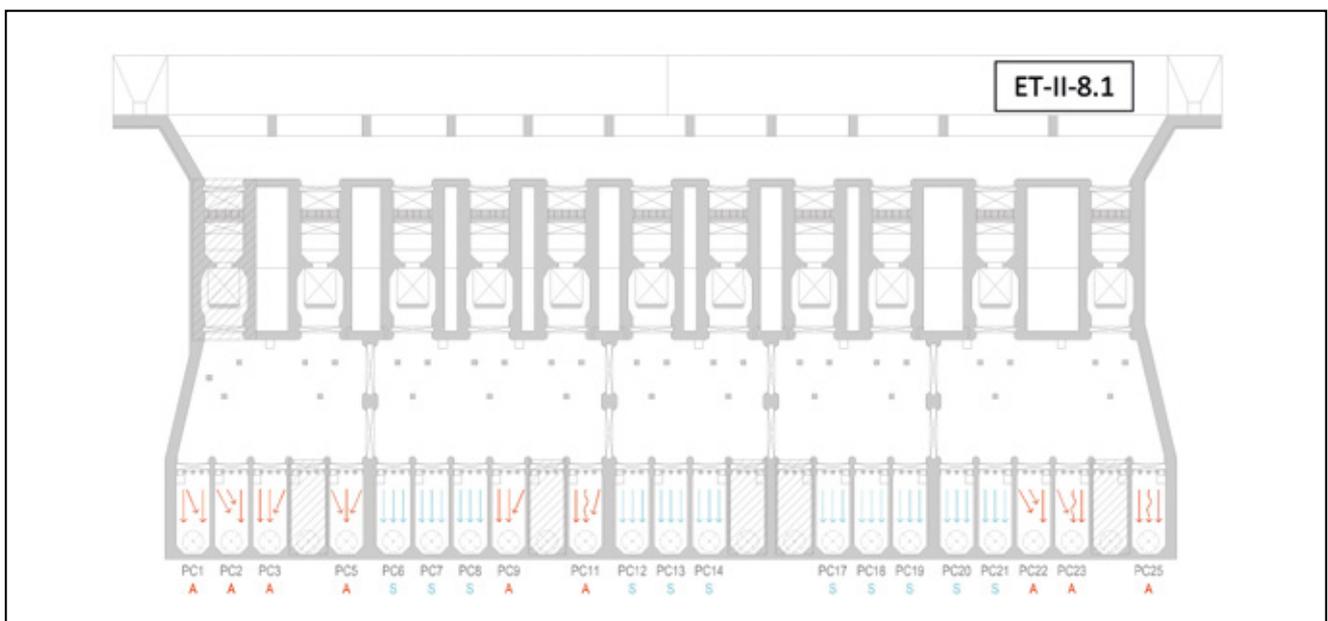


Figura 15. Patrones de flujo en las cámaras de bombeo (rojo = aceptable / azul = estable) para la configuración ET-II-8.1.

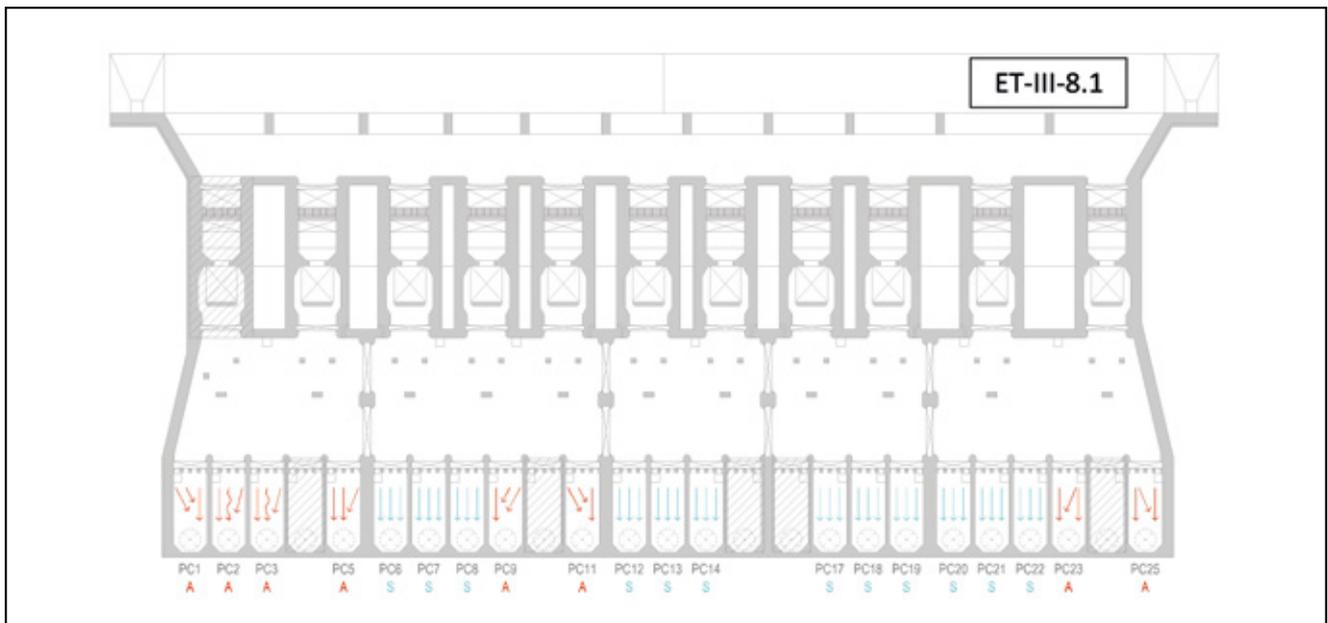


Figura 16. Patrones de flujo en las cámaras de bombeo (rojo = aceptable / azul = estable) para la configuración ET-III-8.1.

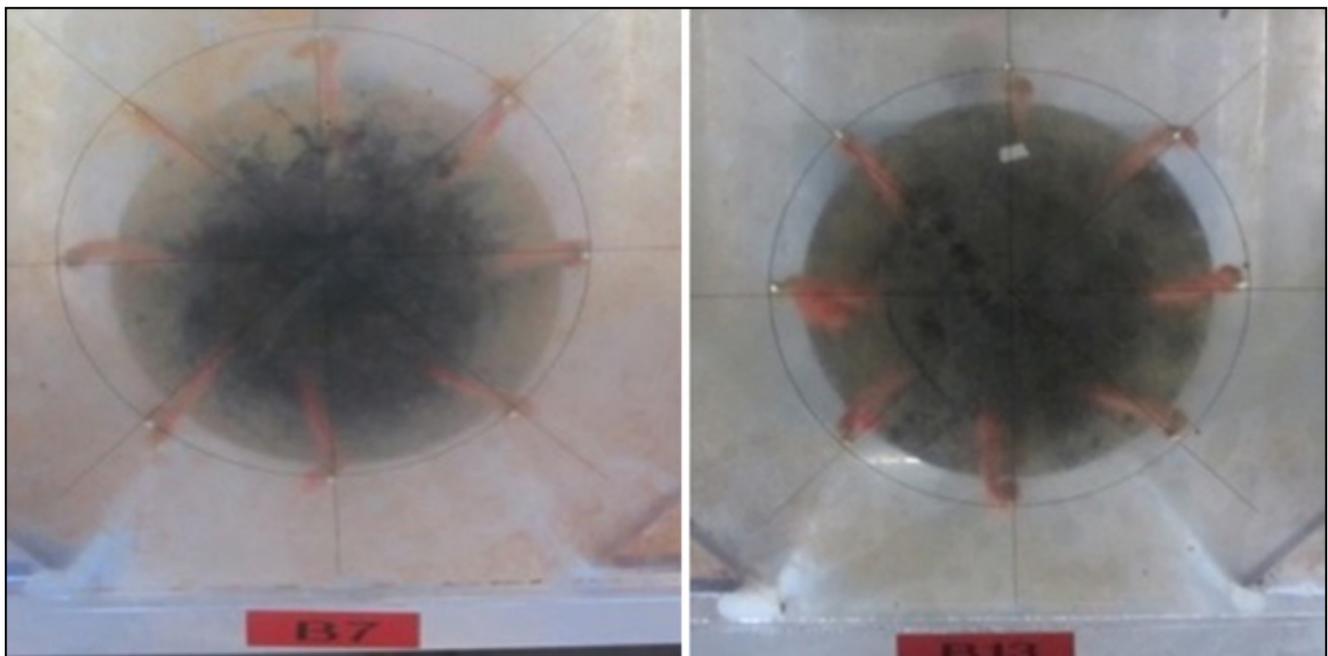


Figura 17. Patrones de flujo en las cámaras de bombeo en las campanas de succión 7 y 13 para la configuración 8.1.

Los resultados de los tres ensayos EAT no mostraron ninguna diferencia notable con respecto a los anteriores, presentando un comportamiento similar en todas las variables medidas. En relación al programa ECT, las figuras 18 y 19 muestran la comparativa de niveles y velocidades medias entre los ensayos EAT-III-8.1 y ECT-1. En ambos casos, las configuración geométrica y niveles de marea son similares, con la única diferencia en el caudal nominal, que el segundo caso fue un 10% mayor (440.000 m³/h).

La primera comparativa (niveles medios) muestra un descenso notable del nivel en las cámaras de alrededor de 20 cm entre ambos ensayos, siendo la principal razón el

incremento de 40.000 m³/h del caudal total y la consiguiente mayor pérdida de carga en los screens. En cuanto a las velocidades medias, se aprecia un pequeño incremento en el ensayo ECT-1 pero que en ningún caso supera el límite de 0,5 m/s impuesto por la normativa ANSI/HI 9.8-1998. Por último, la figura 20 muestra la onda generada en varias cámaras de bombeo durante el ensayo ECT-2 (parada súbita del sistema) cuando el nivel del mar alcanza el máximo (+ 3,40 m.s.n.m.) y para un caudal de 400.000 m³/h. Los resultados muestran un efecto transitorio de variación de niveles que en ningún caso llega a alcanzar la cubierta de la estación, por lo que se puede descartar cualquier afección sobre la estructura durante este fenómeno.

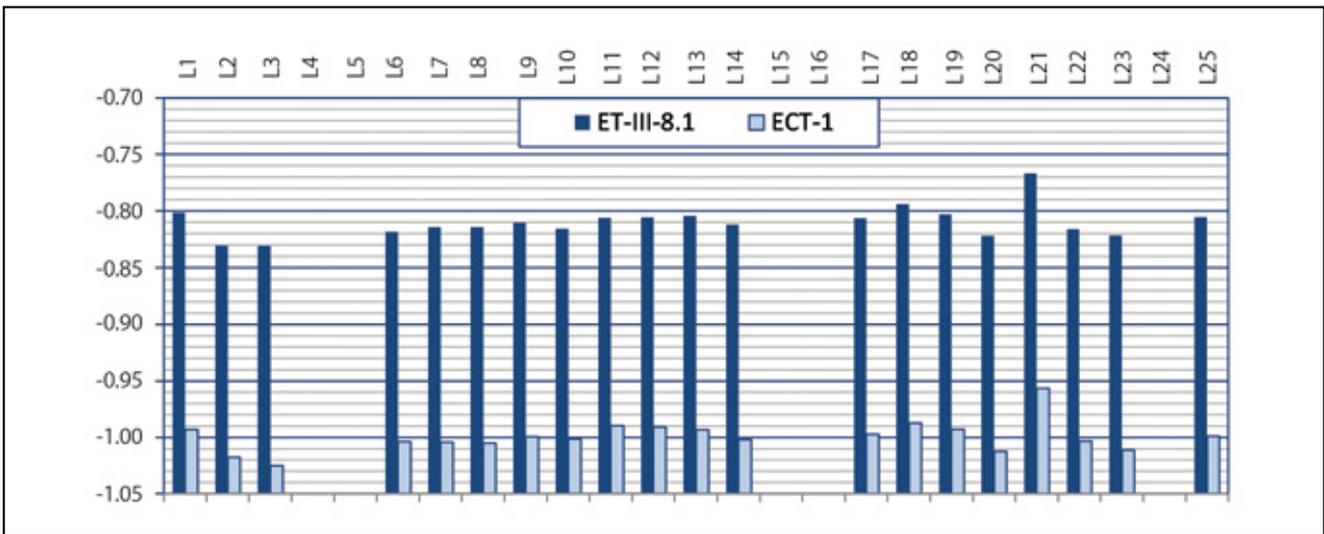


Figura 18. Comparativa de niveles medios para los ensayos ET-III-8.1 y ECT-1 (en m de prototipo).

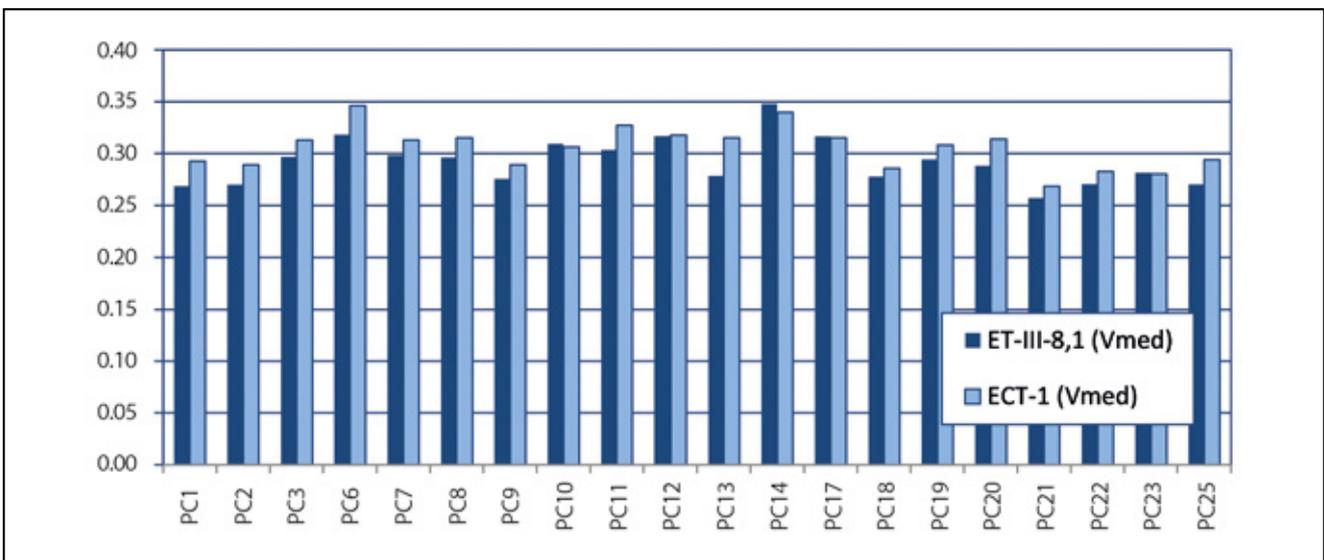


Figura 19. Comparativa de velocidades medias para los ensayos ET-III-8.1 y ECT-1 (en m/s de prototipo).

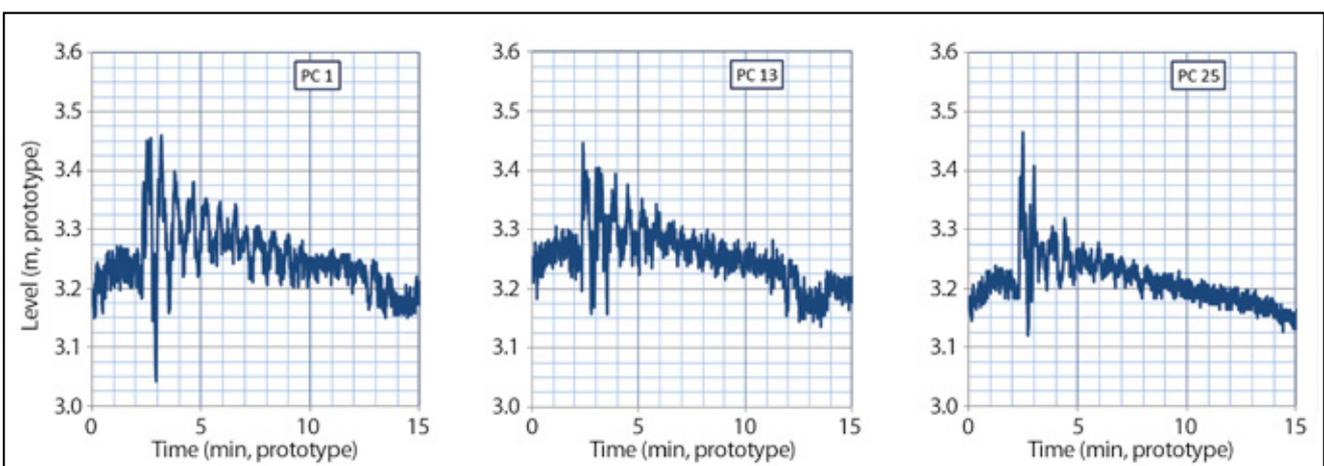


Figura 20. Transitorio generado en las cámaras 1, 13 y 25 para un nivel inicial de +3,40 m.s.n.m.

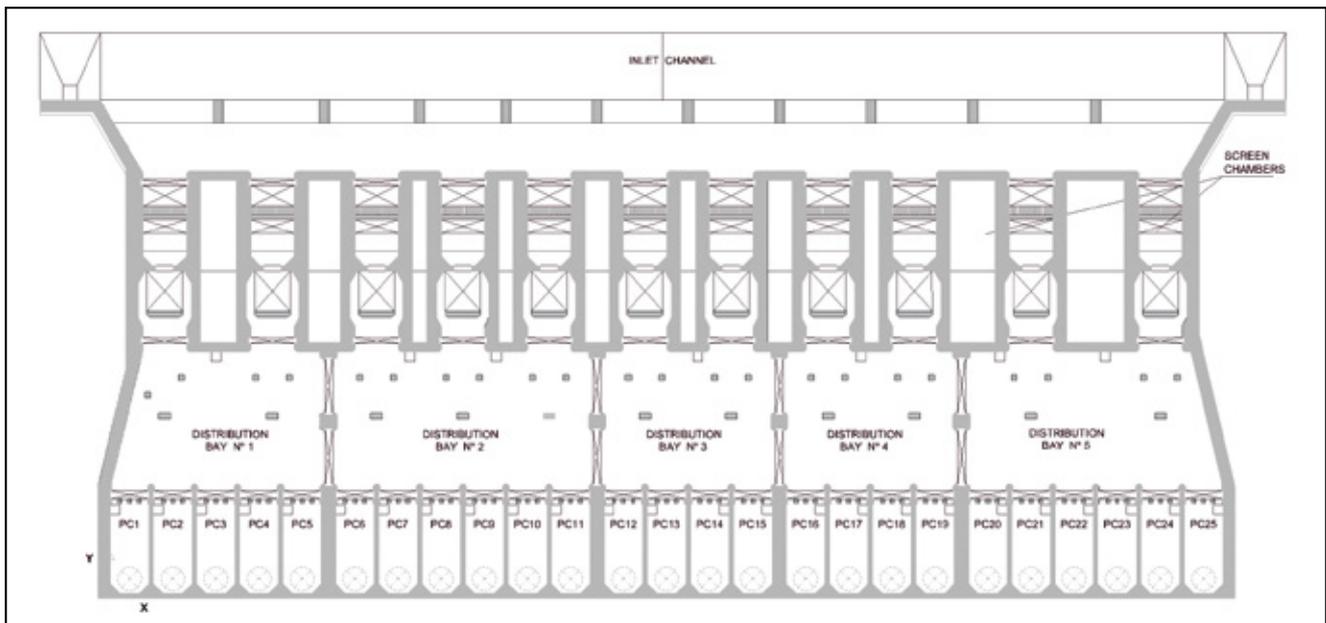


Figura 21. Solución geométrica propuesta para el diseño final de la SWIPS II.

6. CONCLUSIONES Y SOLUCIÓN PROPUESTA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL MODELO FÍSICO

Considerando los resultados obtenidos a partir de los programas ET, EAT y ECT, la principal conclusión que se obtiene de este estudio es que la configuración ET-III reproduce el mejor comportamiento del flujo para la estación de bombeo (figura 21). Esta solución presenta una configuración geométrica con tres columnas ($0.40 \times 0.40 \text{ m}^2$ de base y 4.80 m de altura) en la entrada de cada cámara de bombeo y dos columnas laterales de 60 cm y un muro de 1,2 m de ancho en la salida de cada canal de filtrado (bahía de distribución). La principal razón de esta selección se encuentra en la mejora notable de los patrones de flujo con esta geometría, ya que los niveles y velocidades medias apenas sufren variación con respecto al resto de configuraciones.

7. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EJECUCIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Una vez definido el diseño final de la SWIPS II a partir de los resultados obtenidos del comportamiento hidráulico en modelo físico, comenzaron los trabajos de construcción de la obra y las instalaciones asociadas en un conjunto de fases que se detallan en los siguientes apartados de este capítulo.

7.1. Creación del recinto

La estación de bombeo se construyó sobre la línea de playa, en la carrera de marea normal, por lo que se procedió a conformar un recinto que permitiera tanto la excavación en seco como el desarrollo de los trabajos de hormigonado.

El recinto se estableció de cara al mar mediante celdas de tablestacas metálicas rellenas de arena. La longitud total de la ataguía de tablestacas fue de 282,60 m formada por 21 celdas de 12 m x 11 m. Para mantener el nivel freático por debajo del plano de cimentación de la estación, se realizaron 15 pozos de bombeo de 20 m de profundidad media en los tres frentes que lindan con la playa.



Figura 22. Definición del recinto mediante sistema de tablestacas.

7.2. Excavación

El terreno donde se cimentó la estación de bombeo estaba compuesto en la parte superior por unos 3 metros de arena fina y uniforme, mientras que el resto de la columna estaba rellena con una arena limosa de impermeabilidad media. Se excavó por medios convencionales (retroexcavadoras) y la retirada de material se llevó a cabo mediante camiones de 26 toneladas de capacidad. La excavación demandó un plazo de 5 meses para un volumen total de 134.000 m^3 .



Figura 23. Retirada de material en la zona de cimentación de la SWIPS II.

7.3. Trabajos en hormigón

Una vez ejecutada la excavación, se comenzaron los trabajos de construcción de las tres estructuras de hormigón principales: solera inferior, muros y losas superiores (figuras 24, 25 y 26). El tipo de hormigón a ejecutar necesitaba reunir características que lo hicieran resistente a las sales del agua de mar, por lo que se utilizó cementos tipo II con agregado de escoria de altos hornos y microsílíce.

Adicionalmente, se impuso a las estructuras un límite de 0,1 mm de abertura de fisura, lo que significó altas cuantías de armaduras con un promedio aproximado de 170 kg/m³.



Figura 24. Construcción de la solera de hormigón.



Figura 25. Construcción de los contornos para las diferentes instalaciones de la SWIPS II.



Figura 26. Construcción de la cubierta (losas superiores) de la SWIPS II.

Los equipos más singulares que fueron utilizados durante esta fase de construcción fueron 4 grúas torre y

camiones hormigonera. El encofrado de los muros se realizó para ejecutarlos en una sola colada, por lo tanto su altura alcanzó aproximadamente los 11 m.



Figura 27. Construcción de embocadura de las cámaras de bombeo.

Los trabajos de hormigón comenzaron en septiembre de 2014 y se empleó un plazo de ejecución de 12 meses. Para completar la protección contra la acción del agua de mar se procedió a pintar todas las superficies de las instalaciones de la estación (62.588 m²) con pintura epoxi (figura 28).



Figura 28. Revestimiento con pintura epoxi en las superficies de una bahía de distribución.

7.4. Equipos mecánicos

Los principales elementos mecánicos instalados en la estación son los equipos de tratamiento de agua de mar. Todos ellos se ubican en cada uno de los diez canales de filtrado y se describen en las siguientes figuras.

- Reja con sistema auto-limpiante con un paso de 30 mm y criba de malla de movimiento para flujo continuo de 3 mm de paso
- Bombas del sistema de lavado sumergibles (4) con una capacidad de 350 m³/h
- Bombas de trituración de medusas (3) y de evacuación de lodos



Figura 29. Sistema de filtrado con reja auto-limpiante.



Figura 30. Bombas de lavado sumergibles y eliminación medusas.

8. FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS E INAGURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Una vez cumplidos todos los plazos contractuales que se demandaban para la construcción y montaje de equipos en un plazo total de 27 meses, la obra llegó a su fin el día 2 de abril de 2016 con el certificado de cumplimiento de trabajos por parte de la empresa contratante. Las siguientes imágenes muestran la cubierta de la estación donde se ubican los equipos de bombeo y la entrada a las 10 líneas de filtrado una vez concluidos los trabajos.

Unos días después de la finalización oficial de los trabajos, el día 4 de abril de 2016, la empresa contratante (Majis) celebró la inauguración oficial de la Estación de Bombeo del Puerto Industrial de Sohar II (SWIPS II), con una amplia presencia de las autoridades del gobierno del Sultanato de Omán.



Figura 31. Vista lateral de la cubierta de la SWIPS II.



Figura 32. Vista de la bahía y el canal de entrada en la SWIPS II.



Figura 33. Autoridades del gobierno omaní durante la inauguración de las instalaciones.

9. REFERENCIAS

CEDEX (1981). *Estudio en modelo reducido de la central térmica de Jinamar*. Madrid: CEDEX.

CEDEX (2002). *Estudio en modelo reducido de la estación de bombeo PS1.2 de Bozova (Turquía)*. Madrid: CEDEX.

Hydraulic Institute (1998). *American National Standard for Pump Intake Design (ANSI/HI 9.8)*. Parsippany (EE UU): Hydraulic Institute.

Knauss, J. (1987). *Swirling Flow Problems at Intakes*. IAHR Hydraulic Structures Design Manual. Róterdam (Holanda): Balkema/CRC Press.