

PLANTA DEPURADORA BERAZATEGUI: ESTUDIOS EN MODELO FÍSICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Varvasino, J.; Balzacca, F.; Barros Abdala, L.;
Ortiz, F.; Lucino, C.; Liscia, S.

UIDET Hidromecánica - Facultad Ingeniería - UNLP.

Calle 47 N° 200, La Plata (CP1900), Argentina -
jfvara@gmail.com

Introducción

En la actualidad se encuentra en construcción la expansión del actual Sistema Berazategui, que recibe los desechos de la primera, segunda y tercera cloacas máximas, siendo estos elevados en la estación de bombeo de entrada ubicada en la localidad de Wilde. Desde allí, son conducidos a la planta de pretratamiento Del Bicentenario (en funcionamiento desde el año 2014), a la nueva estación de bombeo de salida y el emisario (Fig.1). Éste último se trata de tres conductos de 7,5 km de longitud que descargarán los efluentes pretratados al Río de la Plata, contando con 5 km adicionales al actual, lo que permitirá una autodepuración progresiva de la costa, y brindará un mejor servicio cloacal a 7.3 millones de habitantes de Capital Federal y Gran Buenos Aires, considerando a su vez una incorporación aproximada de 1.5 millones provenientes de los partidos de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Quilmes, Florencio Varela y Presidente Perón permitiendo erogar 2.9 millones de m³/d [1].

La UIDET Hidromecánica de la Facultad de Ingeniería UNLP tiene a su cargo los estudios de verificación y optimización del diseño hidráulico de la estación de bombeo de salida a través de la modelación numérica y física a escala reducida.

Mediante la modelación física, se busca reproducir el patrón de escurrimiento con una aproximación satisfactoria de las fuerzas en juego con dimensiones y caudales que son compatibles con las que dispone la nave de ensayos del laboratorio. Las características de las condiciones de flujo y los fenómenos posibles de producirse en este caso tales como los escurrimientos de aproximación y la formación de vórtices, con flujos convergentes y divergentes tanto a superficie libre como a presión.

MODELO FÍSICO

La modelación física debe garantizar la adecuada representación en escala de los fenómenos hidrodinámicos que pudiesen tener lugar en el prototipo, condición que se ha de garantizar mediante el seguimiento de las reglas de semejanza hidráulicas y las recomendaciones de la norma ANSI/HI 9.8.

En el caso del comportamiento del fluido a superficie libre, que se ve principalmente gobernado por las fuerzas de inercia y gravedad, el modelo físico ha de construirse empleando semejanza a partir del adimensional Número de Froude:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Siendo V la velocidad del flujo, h el tirante de escurrimiento y g la aceleración de la gravedad.

Por su parte cuando el escurrimiento es a presión, y las fuerzas dominantes son las de presión e inercia, se considera para la semejanza el adimensional número de Euler:

$$E = \frac{V}{\sqrt{\frac{\nabla p}{\rho}}}$$

Siendo V la velocidad del flujo, ∇p variación de la presión entre 2 puntos y ρ es la masa específica del agua.

Bajo estas condiciones de similitud ha de mantenerse constante entre prototipo (p) y modelo (m) el número de Froude, y por ende lo hará el número de Euler ya que, a nivel de escalas para fluidos incompresibles resulta la misma.

$$F_m = F_p; E_m = E_p$$

Para la construcción del modelo físico se utilizó la geometría definida por el proyectista y se adoptó una escala de longitudes de 9,96. La utilización de escalas mayores están limitadas por la instalación del laboratorio y, por otro lado, escalas menores pueden tener injerencia los efectos de la viscosidad o de la tensión superficial en el comportamiento hidrodinámico.

Diseño del modelo físico

El modelo físico de EB Berazategui está compuesto de una cámara de aspiración enlazada a la cámara de impulsión mediante un sistema de tuberías que permiten impulsar el caudal, a través 8 bombas reguladas mediante una válvula esclusa aguas abajo de estas (Fig. 1).

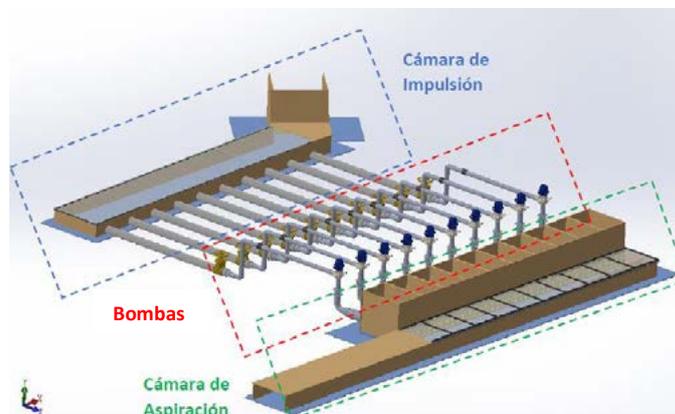


Figura 1: Esquema del modelo físico [2].

Actualmente, se encuentra materializada la cámara de aspiración del modelo, la cual presenta paredes, pisos y tabiques de madera, y paneles de acrílico en el techo del canal de aducción para tener una buena visualización del comportamiento del flujo (Fig. 2). Para representar las tuberías de impulsión y la aspiración de cada bomba, se emplearon cañerías y conexiones de PVC y se construyeron piezas especiales de metal y plástico PLA (mediante impresión 3D). Con respecto a la futura construcción de la impulsión, se procederá de la misma manera.

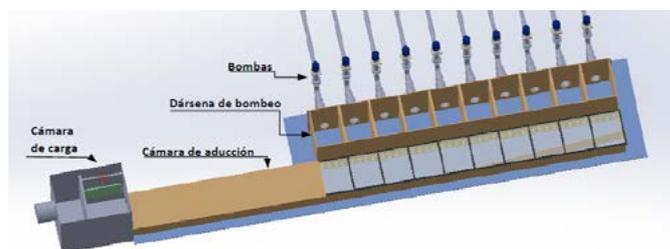


Figura 2: Esquema de la cámara de aspiración [2].

La Fig. 3 muestra las dársenas de bombeo durante su secuencia constructiva y en la Fig. 4 el avance del modelo en marzo del año 2023 con sus bombas y válvulas incluidas.



Figura 3: Secuencia constructiva del modelo [2].



Figura 4: Cámara de aspiración finalizada [2].

En cuanto al bombeo entre cámaras, se realizará mediante bombas con control de frecuencia, siendo esta una innovación propuesta por la UIDET reemplazando a los sifones que habitualmente son utilizados en estos modelos físicos. Las bombas que impulsan el caudal son marca Motorarg-BH300T de 3 HP de potencia, con capacidad de 70 m³/h de caudal máximo y 17 m de salto máximo. Estas fueron seleccionadas a partir de cumplir con la semejanza hidráulica, siendo alimentadas por energía eléctrica mediante un variador de frecuencia que permite desplazar la curva característica H-Q y de esa manera regular los puntos de funcionamiento con mayor facilidad y precisión. En la Fig. 5 se muestra la curva H-Q de la bomba seleccionada.

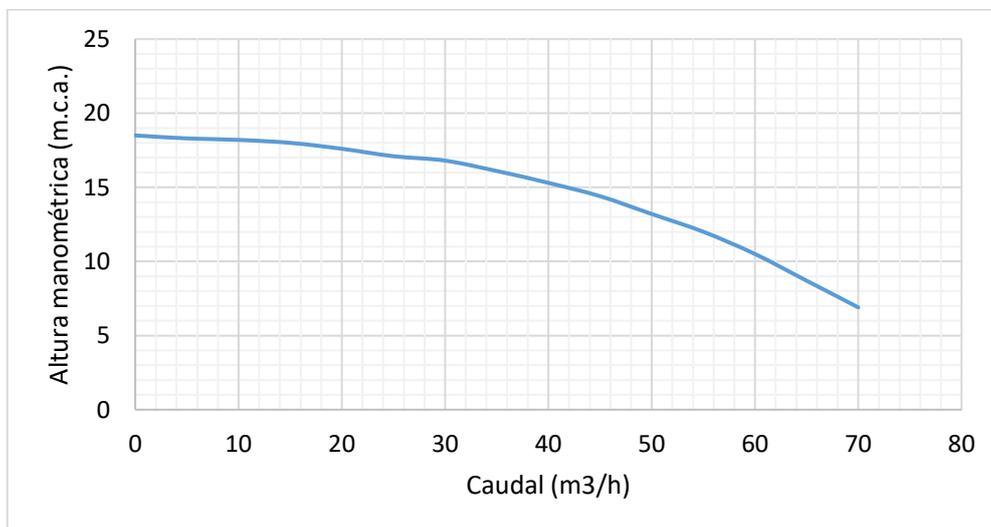


Figura 5: Curva característica de la bomba Motorarg BH 300T [2].

VARIABLES MEDIDAS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

En cada ensayo se relevarán las variables de estado: caudal, y nivel de la superficie libre en cámaras de carga y dársenas de bombeo; se registrarán los giros del rotámetro vertical y horizontal y se observará el patrón de escurrimiento dentro de las cámaras a presión y en las dársenas a superficie libre junto con la observación de formación de vórtices.

El caudal entrante al modelo físico se lo medirá con un caudalímetro electromagnético mientras que el caudal erogado por cada bomba se la medirá con una placa orificio, siendo éste un instrumento que permite mediante la interposición de una placa normalizada, generar

una diferencia de energía piezométrica entre aguas arriba y aguas abajo pudiendo saber a partir de esta diferencia el caudal circulante por la tubería.

Como se observa en la Fig. 6, para evaluar la circulación del flujo en la aspiración de la bomba se dispondrán rotámetros en la aspiración de esta. La valoración de la circulación del flujo se realiza a partir del parámetro grado angular θ que representa el ángulo entre la velocidad normal a la sección considerada y la velocidad tangencial para un radio determinado.

La norma ANSI recomienda tener un valor máximo de 5° para evitar problemas en el funcionamiento de las bombas.

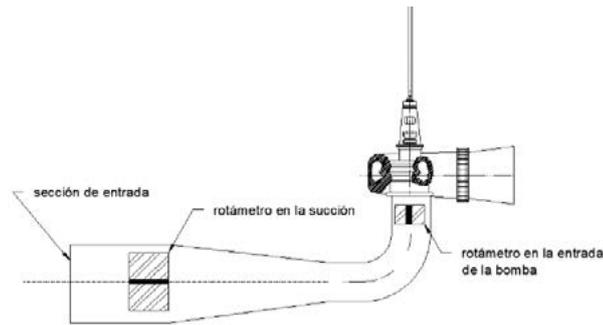


Figura 6: Esquema de la aspiración de la bomba [2].

La identificación de los vórtices se realiza mediante observaciones directas y, dada la impermanencia con que estos se pueden presentar, dichas observaciones se realizaron durante al menos 10 minutos de observación.

Con el fin de caracterizar la fuerza de estos vórtices de forma sistemática, se emplea la siguiente escala cualitativa propuesta por la norma ANSI/HI 9.8.

Como se puede observar en la Fig. 7, a mayor tipo de vórtice, mayor es un intensidad. La norma ANSI recomienda vórtices tipo 3 como valores máximo.

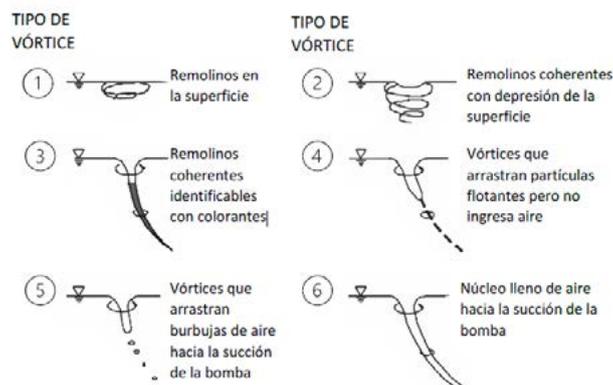


Figura 7: Clasificación de vórtices de superficie de libre [2].

Resultados

Se analizarán 10 escenarios, abarcando el rango de caudales operativos que podrán ocurrir en el prototipo. Para esto se utilizaron diferentes configuraciones poniendo en funcionamiento las diez posiciones de bombeo, considerando siempre que el máximo es de ocho bombas encendidas a la vez y dos en reserva.

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los 10 escenarios con valores (en términos de prototipo) las condiciones de operación de cada elemento.

Tabla 1: Resumen de escenarios que se ensayarán en modelo físico [2].

Escenario	Qt	Qb	Nivel dársena (m OSN)	Prioridad	Bombas encendidas										
	$\frac{m^3}{seg}$	$\frac{m^3}{seg}$			N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	33,50	4,19	13,50	ALTA	8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2	25,20	3,60	13,50	ALTA	7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
3	25,20	3,60	13,50	MEDIA	7	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
4	17,00	2,83	13,50	MEDIA	6	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
5	17,00	2,83	13,50	MEDIA	6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
6	14,00	3,50	13,50	BAJA	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	33,50	4,19	13,50	ALTA	8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	33,50	4,19	13,50	MEDIA	8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
9	25,20	3,60	13,50	MEDIA	7	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
10	17,00	2,83	13,50	MEDIA	6	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1

0 APAGADO 1 ENCENDIDO

Probablemente el escenario más desfavorable resulte ser el caso 1 (Fig. 8), ya que es el que demanda el caudal máximo para la sumergencia mínima. Dentro de ésta alternativa, la bomba 1 y 2 son las que tendrán un peor funcionamiento debido al ingreso asimétrico del flujo.

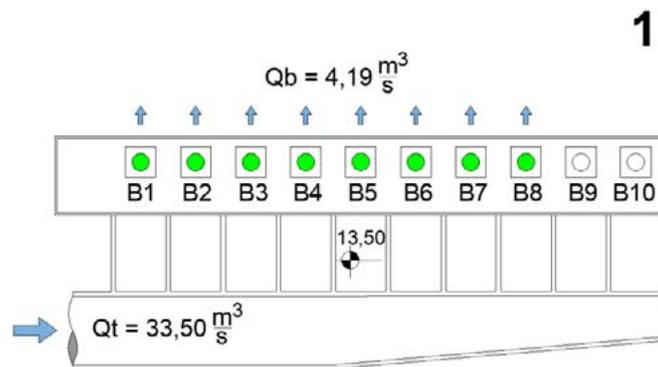


Figura 8. Escenario 1 de ensayo [2].

Discusión

La modelación física utilizando bombas en lugar de sifones trae consigo ventajas del tipo operacionales, entre ella cabe mencionar la necesidad de una cierta altura que permita impulsar el fluido por acción de la gravedad, simulando el bombeo, lo cual trae como consecuencia la habilitación de un mayor espacio físico para realizar los ensayos. Por otro lado, un sistema con sifones solo puede regular sus caudales a partir de la utilización de válvulas, en cambio con la utilización de bombas, se adiciona el ajuste a partir de la variación del número de vueltas, modificando la curva característica H-Q, siendo esta última más sensible y preciso a los cambios, mejorando la repetibilidad de los ensayos.

En cuanto a las desventajas de la utilización de un sistema con bombas, son principalmente económicos, ya que la obtención de estos equipos supera claramente a su alternativa.

Por último, si bien la solicitud planteada a este laboratorio se circunscribe a los estudios en modelo físico, en esta propuesta se incluye la modelación numérica también, ya que la experiencia en estudios similares ha demostrado que la misma es un recurso que complementa a la modelación física, agilizando el proceso de toma de decisiones en cuestiones referidas al diseño hidráulico, ya sea en la etapa inicial, previa a la construcción del modelo, para verificar la ingeniería básica de diseño, como en el proceso de evaluación de alternativas, en caso de proponer mejoras [3]. A modo de ejemplo, la modelación

numérica ha sido de gran ayuda para definir los escenarios que se ensayarán, ya que permitieron conocer la ubicación de las bombas con mayor desventaja en su funcionamiento porque tienen un ingreso del flujo más limitado, siendo estas las elegidas con mayor prioridad de estudio en la modelación física.

La Fig.9 muestra las líneas de corriente en la cámara de aspiración, viéndose desfavorables las que se encuentran a la entrada de ésta [4].

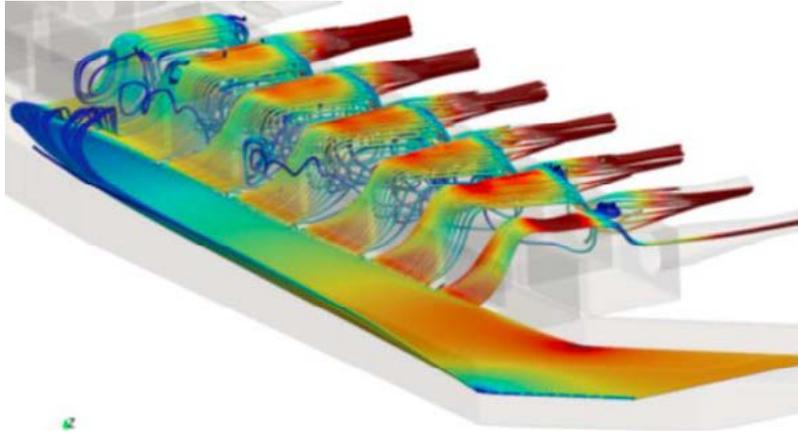


Figura 9: Líneas de corriente en cámara de aspiración luego de salir del tramo de impulsión [4].

Conclusión

Gracias a la utilización de bombas con frecuencia variable en la modelación física, se podrá estudiar el funcionamiento de esta megaobra con mayor exactitud, permitiendo una mayor optimización de las mejoras propuestas desde el punto de vista hidráulico y garantizando así el buen funcionamiento de esta. Esto redundará en menores fallas durante la operación de la estación de bombeo, que traerán como consecuencia menores gastos en tareas de mantenimiento y control de instalaciones, menor cantidad de interrupciones del servicio y reducción en la utilización del bypass de emergencia que volcaría sin tratamiento los líquidos al Río de La Plata, afectando gravemente el ambiente.

Bibliografía

- [1] Página web de Aguas y Saneamientos Argentinos. Último Acceso: marzo 2023. URL: https://www.aysa.com.ar/usuarios/Novedades/2022/06/firma_emisario_berazategui
- [2] Sergio, Liscia et al. (2023) "Modelo físico y matemático de la Estación de Bombeo Planta Berazategui – Informe de avance II". UIDET Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería UNLP.
- [3] Sergio, Liscia et al. (2022) "Estación de bombeo Planta Berazategui – Ejecución de estudios sobre modelo físico – Propuesta técnico-económica". UIDET Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería UNLP.
- [4] Sergio, Liscia et al. (2022) "Modelo físico y matemático de la Estación de Bombeo Planta Berazategui – Informe de avance I". UIDET Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería UNLP.