

FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA SEGUNDA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE PB5 A T05 DEL SISTEMA CUTZAMALA

ALEJANDRO SÁNCHEZ,
EDUARDO RODAL Y LIBIA CARMONA

Con la puesta en servicio de la Planta de Bombeo No. 5 (PB5), en 1982 inició operaciones la primera etapa del Sistema Cutzamala, para el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México y municipios del Estado de México. Esta planta de bombeo, una de las seis que conforman el sistema, se alimenta del tanque de aguas claras de la planta potabilizadora “Los Berros”. Actualmente, después de la entrada en funcionamiento de la segunda y tercera etapas del sistema, los caudales de operación de la PB5 han alcanzado los 16 m³/s. En un futuro, cuando sea factible la incorporación de la cuarta etapa, el sistema debería bombear hasta 24 m³/s.

El Sistema Cutzamala es la principal fuente externa de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México, actualmente, le aporta un caudal de entre 9.5 y 10 m³/s, que representa alrededor de 30% del total requerido. El 70% restante corresponde a sistemas y redes de pozos ubicados en el Estado de México; Lerma, Barrientos y Chiconautla, entre otros, así como de pozos y manantiales localizados dentro de la ciudad.

La tubería de conducción que va de la PB5 hasta la Torre de Oscilación No. 5 (T05), de 1,500 m de longitud y 3.0 m de diámetro, ha operado de manera prácticamente ininterrumpida en los casi cuarenta años de vida del sistema. Por tratarse de uno de los pocos tramos que no contaban con una conducción



Figura 1. Tuberías de alta presión en la descarga de la Planta de Bombeo No. 5

paralela, en la década pasada, la CONAGUA llevó a cabo el diseño y construcción de una segunda línea (Línea 2), que permita poner fuera de servicio la Línea 1 para su mantenimiento. En noviembre de 2018 se pretendió interconectar las líneas y poner en funcionamiento la Línea 2; lamentablemente, en el proceso de llenado se presentaron desplazamientos en la estructura de interconexión que impidieron su funcionamiento.

Por lo anterior, se decidió modificar el proyecto de interconexión e implementar un nuevo arreglo en la descarga de la PB5, con la ventaja de realizarlo con diámetros menores, aunque esto implicó adaptar la instalación en una zona con muy poco espacio y con interferencia con las estructuras existentes. El nuevo arreglo permite que dos de los equipos de bombeo puedan conectarse alternativamente a cualquiera de las dos líneas, asegurando de esta forma que cada línea, de manera independiente, pueda entregar un gasto de por lo menos 17 m³/s.

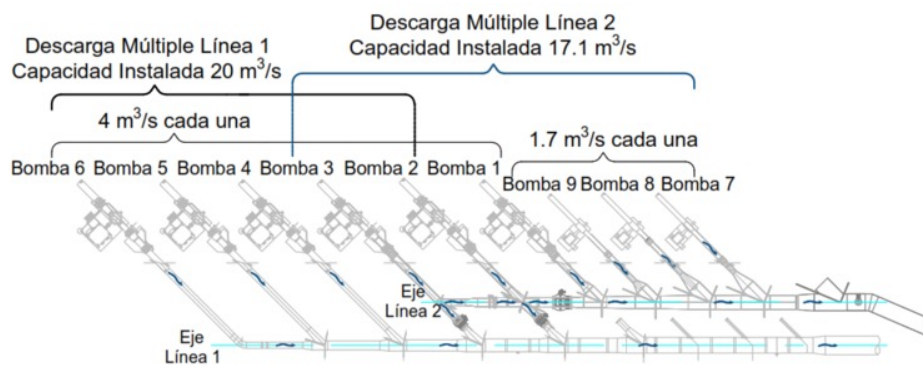


Figura 2. Nuevo arreglo de los múltiples de descarga de la Planta de Bombeo No. 5

Para asegurar el correcto funcionamiento de este nuevo arreglo, que incluye todos los elementos de la Línea 2 ya construidos, la CONAGUA solicitó apoyo técnico al Instituto de Ingeniería en las especialidades de hidráulica, geotecnia y estructuras. De esta manera, se conformó un equipo de trabajo que contó, además de los autores de este artículo, académicos de la Coordinación de Hidráulica, con la participación de los grupos de trabajo a cargo de los doctores Alberto Jaime Paredes y Fernando Peña Mondragón.

Por lo que respecta al área de Hidráulica, se llevaron a cabo los análisis de la operación del bombeo en flujo establecido y transitorio. En ambos casos, los análisis hidráulicos se efectuaron para diferentes condiciones de funcionamiento, esto es; operando exclusivamente por la Línea 1 o por la Línea 2, con caudales de 20 y 17 m³/s respectivamente, así como con la operación simultánea de ambas, para un gasto total de 24 m³/s.

Los análisis en operación normal, o flujo establecido, se realizaron utilizando un modelo desarrollado con el programa EPANET. El modelo consideró el subsistema hidráulico comprendido entre el tanque de aguas claras y el tanque Santa Isabel, ubicado 15 km aguas abajo de la T05. A través de estos análisis:

- i. Se determinaron las presiones máximas en operación normal a todo lo largo de las conducciones, desde los múltiples de descarga de la PB5 (21 kg/cm²)

hasta la interconexión de las líneas 1 y 2 con la T05 (3.8 kg/cm²).

- ii. Se establecieron directrices de operación a través de un protocolo de maniobras en las bombas y válvulas localizadas en la PB5, así como en la llegada a la T05. En particular, se trata de los lineamientos para la operación normal del bombeo y las maniobras necesarias para el funcionamiento con una sola de las dos líneas de alta presión, en caso de que la otra tenga que salir de operación para mantenimiento.

A partir de las condiciones en operación normal, se realizaron los análisis numéricos del transitorio hidráulico provocado por el paro accidental del bombeo. Por tratarse de las condiciones extremas, se consideró el disparo simultáneo de bombas enviando el caudal máximo determinado para cada uno de los escenarios analizados en operación normal.

En todos los casos, las simulaciones numéricas se realizaron utilizando el programa Trans, desarrollado por el Grupo de Hidromecánica del Instituto de Ingeniería de la UNAM. El programa fue alimentado con las características físicas de las estructuras hidráulicas y de las líneas de conducción, así como con los parámetros que describen el comportamiento de las válvulas y equipos de bombeo en flujo transitorio. Cabe señalar que dichos parámetros han sido calibrados a partir de una gran cantidad de mediciones de campo efectuadas desde el inicio de la operación del sistema.

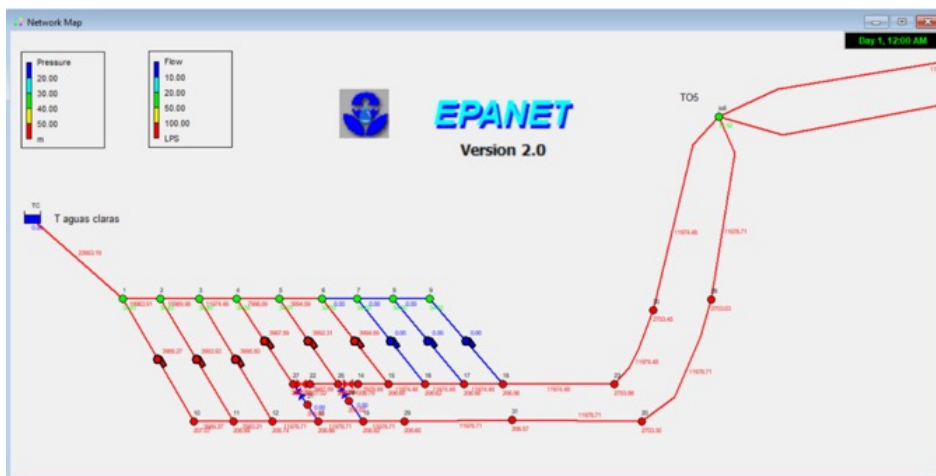


Figura 3. Simulación en EPANET de la operación normal del sistema

Los resultados que arrojó el programa incluyen la variación en el tiempo de la carga y el gasto en diferentes puntos de la conducción; también, la variación del nivel en las estructuras hidráulicas involucradas y de la velocidad de giro de los grupos motor-bomba. El programa Trans proporcionó, además, las envolventes de cargas extremas (máximas y mínimas) a lo largo de la conducción.

De esta forma, fue posible establecer que las presiones máximas transitorias que se presentarán en los múltiples de descarga de la PB5 serán de hasta 30 kg/cm², esto es, 43% mayores a la presión máxima en operación normal.

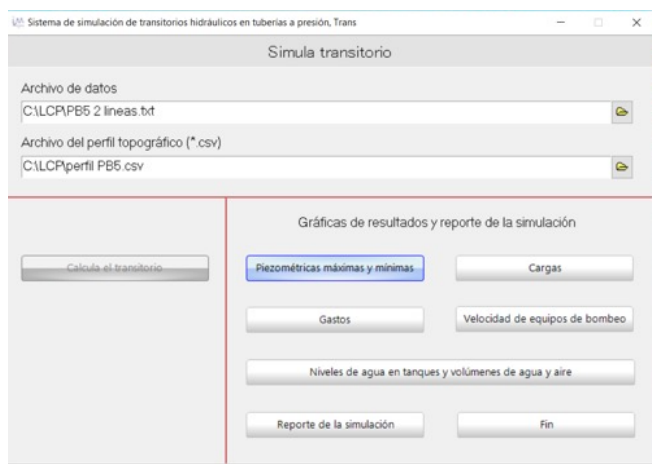


Figura 4. Módulo para presentación de resultados del programa Trans

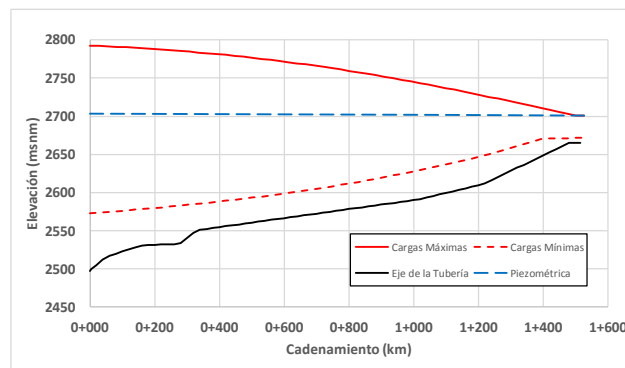


Figura 5. Envolventes de cargas extremas calculadas con el programa Trans

Es muy importante mencionar que los resultados anteriores fueron un insumo fundamental para la revisión del diseño estructural de la tubería que conforma la Línea 2, particularmente de sus apoyos. Asimismo, permitieron llevar a cabo la revisión de estabilidad de los atraques en el nuevo múltiple de descarga y en los cambios de dirección de las tuberías. Como resultado de la revisión estructural y de geotecnia, se establecieron recomendaciones para la adecuación de las estructuras ya construidas e, incluso, propuestas para el rediseño de estructuras que aún no habían sido concluidas.

El 26 de marzo de 2021, la CONAGUA, por conducto del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, puso en servicio la Línea 2, tramo PB5-TO5, el cual opera con normalidad a la fecha de esta publicación. |

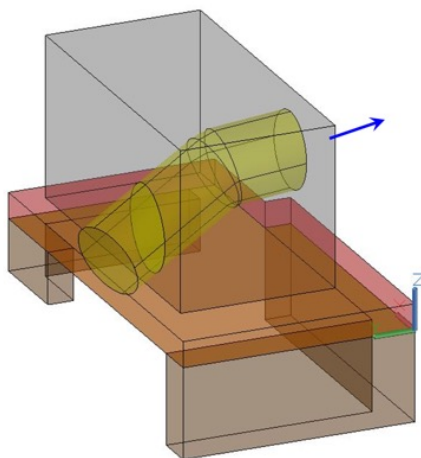


Figura 6. Propuesta para la recimentación de un atraque en la nueva línea de alta presión