

Tecnología Hidráulica

Hidráulica ambiental

Como parte de las acciones relacionadas con el Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro que el IMTA realiza con el patrocinio de la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA), se rehabilitaron 15 manantiales prioritarios dentro de los cuatro municipios ribereños: Erongarícuaro, Quiroga, Pátzcuaro y Tzintzuntzan, Mich. De esta manera se logró el desazolve, la limpieza y la protección de estas importantes fuentes de abastecimiento cuyos caudales alimentan el lago con una aportación superior a los setecientos litros por segundo.

A solicitud de Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGyPB), y en el marco del Proyecto de Remediación Ambiental Integral del Pasivo Ambiental de la Unidad Minera Industrial de Texistepec, Ver., el IMTA realizó el estudio geohidrológico y el diseño de un sistema para monitorear las aguas subterráneas de la celda de estabilización de residuos de la unidad. Entre los resultados obtenidos destacan: la ausencia de un nivel freático en los primeros 22 m de profundidad, la presencia de un estrato de arcilla muy compacta y prácticamente impermeable de por lo menos 25 m de espesor, y la ausencia de receptores sensitivos (norias) en el entorno inmediato aguas abajo. La evaluación sistemática de las condiciones men-



MANANTIAL CHAPULTEPEC, PÁTZCUARO, MICHOACÁN



TANQUE ESFÉRICO DE LA TERMINAL DE GAS LICUADO DE CACTUS, CHIAPAS

cionadas indican que no sería necesario instalar un sistema de pozos para monitorear el agua subterránea. No obstante, en vista de que la normatividad vigente, específicamente la NOM-056-SEMARNAT-1993 *Requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos*, exige la instalación de un sistema de monitoreo, se propuso un sistema de tres pozos de observación.

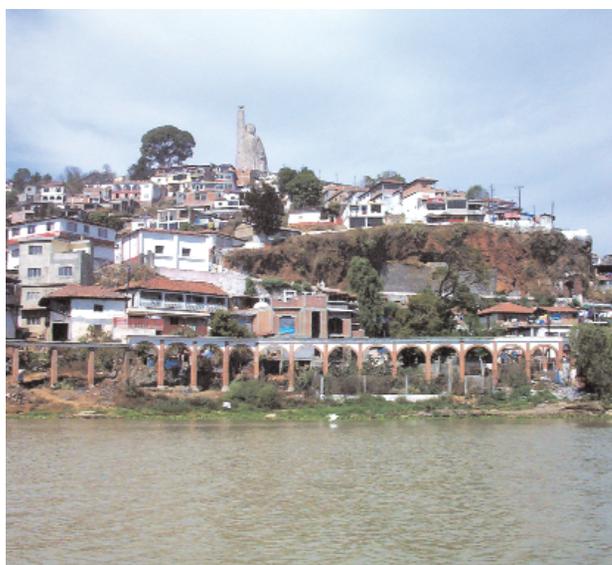
Con base en el programa de mantenimiento preventivo de PGyPB de la terminal de distribución de gas licuado de Puebla, Pue., se solicitó al IMTA la inspección y evaluación de las condiciones operativas de tres tanques esféricos. Se aplicaron pruebas de inspección no destructivas para determinar el estado integral que presentan el metal base y la soldadura de las boquillas, escaleras, soportes y placas que integran los recipientes esféricos. Adicionalmente se dio mantenimiento y se calibraron las válvulas de seguridad de los recipientes. Se analizó el contenido de los tanques aplicando el protocolo CRETIB. Se realizaron varias pruebas no destructivas para inspeccionar la integridad de los tanques, empleando la técnica *Incotest* para analizar la corrosión bajo el aislamiento de los soportes sin nece-

sidad de retirarlo. Como resultado, se evaluó la integridad mecánica de los recipientes y se identificaron las zonas con presencia de fisuras, mismas que fueron reparadas para su posterior reinspección y certificación API. Se realizaron trabajos similares en las terminales de almacenamiento y distribución de Cactus, Chis., y de Ciudad Madero, Tam. Los tres proyectos comprendieron un total de seis esferas de almacenamiento, mismas que resultaron debidamente inspeccionadas, reparadas y certificadas.

Con el fin de mejorar el modelo hidrogeoquímico del lago de Chapala, desarrollado por el IMTA, se incorporaron términos adicionales a las ecuaciones de transporte de contaminantes. Se aplicó la técnica de sólidos parciales con el fin de representar con mayor detalle la geometría tridimensional no uniforme que presenta el lago. Al comparar el modelo resultante con casos previamente analizados, se encontraron ciertas diferencias, tanto en magnitud como en la dirección del campo de velocidades. Adicionalmente, se adaptaron las ecuaciones de intercambio de energía y se incorporaron las ecuaciones que representan la cinética del OD-DBO. Se considera que los resultados son satisfactorios, por lo que se recomienda aplicar el modelo verificándolo con datos de campo y analizar diversos escenarios de operación para proponer las medidas de control apropiadas.

Hidráulica rural y urbana

Por encargo del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tuxtla Gutiérrez, Chis., se realizó el estudio de sectorización de la red de distribución de agua en la zona sur, así como en las zonas conurbadas Terán y Plan de Ayala, con lo que se completó el plan de sectorización de la ciudad. Con el objeto de contribuir al desarrollo de las capacidades institucionales en el estado, en colaboración con la Universidad Autónoma de Chiapas y otras organizaciones locales, se llevaron a cabo dos proyectos piloto para mejorar las eficiencias física y comercial en los distritos hidrométricos de las zonas centro y norte de la ciudad. Como resultado, se observó un incremento de la eficiencia física de esos distritos al pasar del 56 al 69 por ciento.



ISLA DE JANITZIO, PÁTZCUARO, MICHOACÁN

A solicitud de la SGT de la CNA, el IMTA elaboró un manual sobre modelación del cloro residual en redes de agua potable, compuesto de ocho capítulos: "Introducción", "El cloro y sus propiedades", "Modelación matemática aplicada a redes de distribución de agua potable", "Modelación hidráulica", "Modelación de calidad del agua", "Estado del arte en modelos de simulación", "Implementación de un modelo de calidad del agua" y "Ejemplos". Este trabajo es el primero en materia de modelación de la calidad del agua en redes en América Latina.

En el marco del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro se elaboraron los estudios técnicos y los proyectos ejecutivos para la rehabilitación y complementación del sistema de colectores en la localidad de Erongarícuaro. Se realizaron el catastro técnico, el análisis de las redes hidráulicas y los proyectos ejecutivos para la ampliación de la red de agua potable en las localidades de Erongarícuaro, Tócuaro y Nocutze-po. Asimismo, se llevó a cabo el diagnóstico integral de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado de Pátzcuaro, Tzintzuntzan, Erongarícuaro y Quiroga. Se elaboraron propuestas para atender las necesidades prioritarias de los organismos operadores, amén de un plan estratégico para mejorar su operación y servicio a los usuarios, así como colaborar en la gestión sustentable del recurso. Dentro de este mismo programa, y con el fin de contribuir en la disminución de los severos proble-

mas asociados con el desalojo y el tratamiento de las aguas residuales de la isla de Janitzio, se elaboró el proyecto ejecutivo para rehabilitar y mejorar el funcionamiento de su colector perimetral, y como parte de las acciones concretas se apoyó la ejecución de los trabajos de rehabilitación en la zona del muelle turístico.

Para precisar el conocimiento sobre la variación temporal del consumo de agua potable en las zonas urbanas, se realizó un estudio para determinar su comportamiento, obteniendo muestras con alta resolución en cien viviendas de Culiacán, Sin., donde se registró el consumo durante una semana a intervalos de un minuto. El factor de utilización medio, o sea, la relación entre el tiempo efectivo de consumo y el tiempo total de la medición, fluctuó entre el 3 y el 5%. Gracias a esta información es posible generar series de consumo reales, mejorar los modelos dinámicos de las redes de agua potable y, consecuentemente, aumentar el entendimiento sobre los patrones del consumo doméstico. Adicionalmente, se desarrolló una metodología para determinar la variación temporal de las fugas en una red de agua potable, con base en mediciones de gasto en las fuentes y simulación estocástica de la demanda real instantánea en los domicilios. Esta metodología se aplicó y validó en el sector Humaya de Culiacán, Sin. Sobre este último punto vale la pena señalar, que para este caso particular, el porcentaje de fugas en el interior de las casas, en relación al consumo total, fue inferior a dos.



MEDICIÓN DE CONSUMO INTRADOMICILIARIO A TRAVÉS DE UN SENSOR MAGNÉTICO DE PULSOS

Obras y equipos hidráulicos

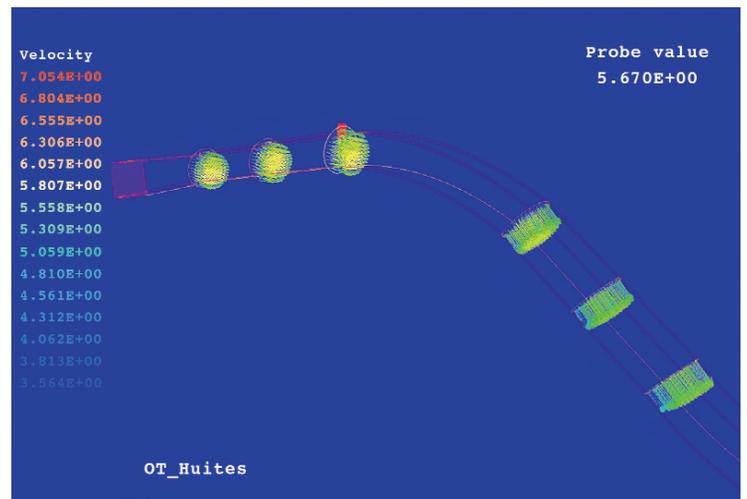
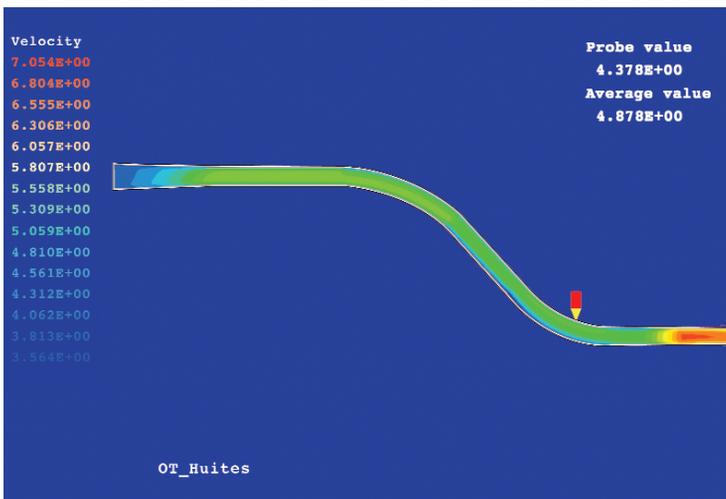
Dentro del proceso de gestión del agua, la instrumentación y el mejoramiento de la medición juegan un papel prioritario. Al respecto, el IMTA realizó diversos estudios y servicios a solicitud de diferentes instituciones, entre las que destacan la CNA, la CFE, las asociaciones de usuarios y los organismos operadores de agua potable. En particular para la CFE se efectuaron 17 proyectos ejecutivos para la instrumentación de algunas de las principales centrales hidroeléctricas del país: La Angostura, Chicoasén, Malpaso, Temascal, El Caracol, El Infiernillo, La Villita, Aguamilpa, Zimapán, Huites, El Novillo, El Oviachic, Bacurato, Mocúzari, Comedero, El Fuerte y Humaya. En términos generales, la tecnología a instalar en estas centrales incluye medidores de tiempo de travesía de cuatro trayectorias internas en concordancia con la especificación CEI-IEC-41-1991-11 *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*. Para asegurar la correcta instalación y funcionamiento adecuado de estos dispositivos, se llevaron a cabo visitas de campo para recabar información y se determinaron los patrones de flujo por medio de un modelo de simulación numérica.

Como parte de la transferencia de nuevas tecnologías para el aforo de corrientes en cauces naturales, se realizó un proyecto para determinar la curva de calibración de la sección de aforos de la estación

Los Aldamas, N. L. La calibración se efectuó utilizando un perfilador acústico Doppler, para diferentes gastos de 4 a 180 m³/s y en diferentes épocas del año, de conformidad con la norma ISO 1100-2: 1998(E) *Measurement of liquid flow in open channels, part 2: Determination of the stage-discharge relation*. Como resultado de la calibración se generó un proyecto para la instrumentación de la estación con un equipo piezorresistivo con una precisión de ±1% en la medición de nivel.

Con el fin de supervisar el funcionamiento de los 13 sistemas de medición automática y de transmisión telemétrica, instalados durante 2003 en las obras de toma de algunas de las principales presas que opera la CNA, se realizó el seguimiento y se apoyó su mantenimiento preventivo. La confiabilidad en la operación de dichos sistemas resultó ampliamente satisfactoria, lo cual hace recomendable el empleo de tecnologías modernas para la medición de caudales en las grandes obras hidráulicas del país.

La Comisión Estatal de Agua de Sonora solicitó revisar el funcionamiento hidráulico de la obra de excedencias de la presa Abelardo L. Rodríguez, ubicada sobre el río Sonora en el municipio de Hermosillo, Son. Esta presa, construida con fines de almacenamiento y control de avenidas, tiene una cortina de tierra homogénea y una obra de excedencias localizada en la margen izquierda. De origen, dicha obra estaba conformada por un canal lateral con descarga libre de 328.7 m de longitud, carga de diseño de 3.00 m para un gasto máximo de 2,735 m³/s. En



MODELACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE MEDICIÓN EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LUIS DONALDO COLOSIO (HUITES), SINALOA

1993 la obra de demasías fue sustituida por un vertedor controlado de 12 m de longitud de cresta, con dos compuertas de 6 m de ancho y 8.25 m de altura, para un gasto de diseño de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Debido a esta modificación, el IMTA desarrolló un modelo a escala reducida para revisar su funcionamiento hidráulico. Como resultado del estudio se determinó que el arreglo actual presenta características que ponen en riesgo la estructura vertedora. Lo anterior debido a la recirculación del flujo que se presenta en el recinto formado entre el inicio del canal de descarga, al pie de las compuertas, y un primer escalón ubicado inmediatamente aguas abajo, golpeando fuertemente el lado exterior de una de las pilas que soportan las compuertas. Por lo tanto es conveniente retirar los escalones existentes y en su lugar colocar uno en el canal de descarga y otro a la salida del tanque amortiguador, para aumentar la eficiencia en la disipación de la energía y provocar un tirante crítico al inicio del canal de conducción. De la misma manera, se recomienda modificar la pila intermedia de la estructura de control para evitar la formación de estelas en el extremo aguas abajo.

Algunos fabricantes y usuarios de macromedidores de tipo propela, turbina o paletas para pozos de agua, han reportado fallas de dichos dispositivos cuando el flujo contiene arena. Sin embargo, no se tiene información respaldada por pruebas de laboratorio u observaciones sistemáticas de campo. En este sentido, en el IMTA se diseñó y construyó un banco de pruebas para este tipo de medidores, en el cual se estudia y valida su funcionamiento bajo estas condiciones. El banco consta de un circuito cerrado en el que se hace circular agua con una determinada concentración de sólidos en suspensión, y se pueden probar simultáneamente hasta nueve dispositivos instalados en serie. Se realizaron pruebas con concentraciones de hasta 2,500 partes por millón de limo y arena fina. No se detectaron fallas. La siguiente etapa consistirá en aumentar la concentración de sólidos para caracterizar y diagnosticar la tipología de las fallas.

En colaboración con la Universidad Autónoma de Zacatecas, el IMTA introdujo mejoras tecnológicas al sistema de riego denominado tanque de descargas de fondo, cuyo funcionamiento se basa en automatización fluidica. Para promover su uso, en



BANCO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DE MEDIDORES SOMETIDOS A FLUJO CON ALTAS CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

el marco del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro y con financiamiento de la FGRA, se instalaron alrededor de veinte sistemas en huertos familiares. La transferencia de esta tecnología es parte de un paquete que incluye otras tecnologías apropiadas, como bio-filtros, cisternas de ferro-cemento, bici-bombas, concentradores solares para de la desinfección de agua y sistemas de captación de agua de lluvia.

Calidad e hidráulica industrial

Durante 2004 la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) evaluó el sistema de calidad del laboratorio de calidad e hidráulica industrial del IMTA, con base en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000, *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*, y refrendó la acreditación de diez pruebas, referidas en la norma NOM-012-SCFI-1994 *Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos.- Medidores para agua potable fría.-Especificaciones*. Con este respaldo, a solicitud de 25 empresas, se realizaron 113 servicios en laboratorio y campo.

Como parte de las acciones para el seguimiento y evaluación del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, se incorporó una batería de indicadores de sustentabi-



MANANTIAL HIDROTHERMAL DE SAN NICOLÁS,
CUITZEO, MICHOACÁN



SITIO WEB DEL PROGRAMA DE USO EFICIENTE
Y RACIONAL DEL AGUA

lidad ambiental. Se realizó un taller interinstitucional y multidisciplinario, creado ex profeso para la selección y generación de dichos parámetros. De esta manera se logró el consenso sobre los indicadores prioritarios.

A solicitud de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente de Michoacán, se efectuó un estudio para evaluar la calidad de las aguas y el potencial productivo de diez manantiales hidrotermales de la cuenca baja del lago de Cuitzeo. Se llevaron a cabo dos campañas de monitoreo para determinar la calidad del agua y realizar los aforos correspondientes. Adicionalmente, se elaboraron croquis de localización y proyectos ejecutivos de obras para su preservación. Se integró un expediente por manantial y se inició un estudio para estimar su potencial geotérmico.

Como parte del PUERA que ejecuta técnicamente el IMTA, bajo la coordinación de la Semarnat, se dio apoyo y seguimiento a las 91 instituciones que actualmente participan en el Programa. De las 53 que reportan los consumos bimestrales de agua, 17 redujeron su consumo con respecto a 2003, 12 lo incrementaron, tres lo mantuvieron y 21 no enviaron datos suficientes. A partir de dicha información

se cuantificó un ahorro de $534,884 \text{ m}^3$ de agua durante 2004, lo que refleja un impacto socioeconómico positivo; con una relación beneficio-costos anual de 1.62. Es importante destacar que en este periodo se incorporaron al Programa trece instituciones ligadas a la Agenda de Transversalidad que coordina la Secretaría. Como parte del proceso de capacitación, promoción y difusión que acompaña al PUERA, se llevaron a cabo cuatro eventos en los que se abordaron diversos aspectos relacionados con su implantación, operación y mantenimiento, en los que participaron las instituciones inscritas. Además, se modernizó la página web del Programa con la finalidad de permitir una navegación más clara y ágil.

Con el fin de reducir las pérdidas y hacer un uso más eficiente del agua a nivel domiciliario, se desarrolló y construyó un novedoso dispositivo, cuyo funcionamiento se basa en la operación de un sifón flexible. El dispositivo evita el riesgo de fugas al eliminar los sellos y las partes móviles del mecanismo y mejora la descarga de los tanques de los escusados. Además es de operación sencilla y de muy bajo costo. Para fines prácticos se puede decir que la válvula de fondo, tradicionalmente conocida como "sapito", es sustituida por un sifón flexible.