

Tlaloc AMH

Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.

Revista Cuatrimestral

Septiembre 2005 - Enero 2006

No. 35



ARTÍCULOS

NOTICIAS

RESEÑAS

La Ingeniería de Presas y Obras Hidráulicas

*Premio "Francisco Torres H."
Dr. Humberto Marengo Mogollón*

Modelos numéricos para la simulación del comportamiento de aireadores en vertedores de grandes presas

*M. Salinas-Vázquez, W. Vicente,
M. García, R. Val, E. Carrizosa,
A. Rodríguez y A. Palacio*

Velitchko Tzatchkov, Felipe Arreguín y Victor Alcocer, reciben premio "Miguel A. Urquijo 2004-2005"

Premio que otorga el CICM al mejor artículo técnico

Simposio sobre Riesgos Hidrometeorológicos en Zonas Urbanas

Héctor Garduño Velasco

Semblanza





**El agua es más
valiosa de lo que
crees y no valorarla
sale muy caro.**

**Asume la responsabilidad
que te toca: cuidarla, pagarla,
cobrarla o legislar a su favor.**

Con agua todo, sin ella nada.



www.cna.gob.mx

EDITORIAL

Tláloc AMH No. 35

Estimados Amigos:

Llegamos al final de un año marcado por importantes acontecimientos que nos invitan a reflexionar sobre la importancia del papel que juega este sector en el acontecer nacional, pero sobre todo del rol que debe asumir nuestra organización para hacer frente al enorme reto que tiene el país para garantizar la sustentabilidad de sus recursos hidráulicos de cara al nuevo milenio.

Justo este año, en el que nuestra Asociación festeja sus 40 años de fundación, la realidad Hidrológica, nos obliga a buscar cambios profundos que renueven la gestión del recurso en México, en vista de las repercusiones que trae consigo en nuestro entorno natural el crecimiento poblacional y la explotación de los recursos hídricos.

La realidad nos muestra también que los efectos de un desarrollo desequilibrado comienzan a sentirse ya en un cambio climático que nos obliga a replantear esquemas tradicionales para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y poner toda nuestra experiencia, talento y capacidades, con el fin de desarrollar alternativas viables en lo técnico, científico y financiero.

De ahí la importancia de promover foros de discusión y análisis de las diversas opciones que como gremio podemos desarrollar, como lo fue el reciente Simposio sobre Riesgos Hidrometeorológicos en Zonas Urbanas, que sin duda contribuirán al diseño de nuevas políticas públicas que consideren al agua como un verdadero recurso estratégico y esencial para el desarrollo nacional.

En este contexto, nuestro Congreso Nacional de Hidráulica, que se llevará a cabo en septiembre del 2006, cobra una mayor relevancia, de ahí que como Asociación dedicaremos todo nuestro esfuerzo, a fin de que sea un evento que nos permita analizar y debatir los avances que la ciencia, la tecnología y la práctica profesional han aportado al sector hidráulico y contribuir con planteamientos objetivos al camino que debe seguir este importante sector con miras a los cambios institucionales que ocurrirán en nuestro país en diciembre de 2006.

Paralelamente, la comunicación entre nuestro gremio debe intensificarse a través de los instrumentos que la propia tecnología hoy en día nos ofrece. En este sentido, los invito a aprovechar las ventajas que para ello nos brinda el sitio en internet de la Asociación, así como la revista Tláloc AMH, que en este número incluye el artículo del Dr. Humberto Marengo, con ocasión del premio "Francisco Torres H." que otorgó nuestra organización.

Finalmente, quiero aprovechar la oportunidad para desearles lo mejor para todos ustedes en este fin de año y hago votos para que el próximo esté lleno de dicha, paz, prosperidad y tranquilidad.

Felicidades.

Poliopetro F. Martínez Austria

Consejo Editorial

Director *Poliopetro F. Martínez Austria*

Editor *Carlos A. Escalante Sandoval*

Editores *Felipe I. Arreguín Cortés*
Asociados *Humberto Marengo Mogollón*
María Luisa Torregrosa Armenta

Daniel Campos Aranda
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Jaime Collado
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Carlos Cruickshank Villanueva
Instituto de Ingeniería, UNAM

Rubén Chávez Guillén
Comisión Nacional del Agua

Salvador Díaz Maldonado
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Sonora

Ramón Domínguez Mora
Instituto de Ingeniería, UNAM

Rosalba Landa
El Colegio de México

Roberto Melville
Centro de Investigación y Estudios
Superiores en Antropología Social

Gabriela Moeller Chávez
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Martín Mundo Molina
Universidad Autónoma de Chiapas

Lilia Reyes Chávez
Facultad de Ingeniería, UNAM

Rodolfo Silva Casarín
Instituto de Ingeniería, UNAM

Gilberto Sotelo Ávila
Facultad de Ingeniería, UNAM

Juan Carlos Valencia Vargas
Comisión Nacional del Agua

Miguel Ángel Vergara
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura,
IPN

Miembros del Consejo Editorial

Tláloc AMH

Tláloc AMH, No. 35, Septiembre 2005 - Enero 2006

ÓRGANO DE COMUNICACIÓN DE LA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE HIDRÁULICA, A.C.

XXVII Consejo Directivo de la AMH

Presidente

Poliopetro F. Martínez Austria

Vicepresidente

Jorge Malagón Díaz

Tesorero

Ángel E. Ortega Mata

Primer Secretario

Claudia Lucía Hernández Martínez

Segundo Secretario

Jorge Arturo Casados Prior

Vocales

Héctor Fernández Esparza

Agustín Félix Villavicencio

Ventas y Publicidad:

José Aarón Campos R.

Director de Promoción

Tels. 5580 4782

5557 1505

aaroncampos@prodigy.net.mx

Tláloc AMH. Es una publicación cuatrimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. Para mayores informes dirigirse a Camino a Santa Teresa 187, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F., tel. y fax (55) 5666 0835. Certificado de licitud de título núm. 12217 y de contenido núm. 8872. Reserva de derechos al uso exclusivo en trámite. El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de los autores y no necesariamente representa la opinión de la AMH. Ninguna parte de esta revista puede ser reproducida en medio alguno, incluso electrónico, ni traducida a otros idiomas sin autorización escrita de sus editores. El tiraje es de 2,500 ejemplares incluyendo los de reposición. Impresa en los talleres de Editores e Impresores FOC, S.A. de C.V. Los Reyes 26, Col. Jardines de Churubusco, Delegación Iztapalapa, C.P. 09410, México, D.F., Tel. 5633 2872. Editor Responsable: Poliopetro F. Martínez Austria.

Certificado de circulación pagada (o gratuita), cobertura geográfica y estudio del perfil del lector, ante la Secretaría de Gobernación con el número DGMI 397.

www.amh.org.mx

INDICE



ARTÍCULOS

La Ingeniería de Presas y Obras Hidráulicas 4
Premio “Francisco Torres H.”

Dr. Humberto Marengo Mogollón

Modelos numéricos para la simulación del comportamiento de aireadores en vertedores de grandes presas 19

M. Salinas-Vázquez, W. Vicente, M. García, R. Val, E. Carrizosa, A. Rodríguez y A. Palacio

NOTICIAS Y RESEÑAS

Simposio sobre Riesgos Hidrometeorológicos en Zonas Urbanas 30

Velitchko Tzatchkov, Felipe Arreguín y Víctor Alcocer, reciben premio “Miguel A. Urquijo 2004-2005” 33

Premio que otorga el CICM al mejor artículo técnico

EVENTOS

América Latina y el Caribe enfrentan problemas comunes en materia de agua y asentamientos humanos 35

SEMBLANZA

Eléctor Garduño Velasco 37

PUBLICACIONES

Agroclimatología cuantitativa de cultivos 39

SITIOS WEB

Riesgos Hidrometeorológicos 40

La Ingeniería de Presas y Obras Hidráulicas

Premio “Francisco Torres H. 2004”

Dr. Humberto
Marengo Mogollón

Introducción

Se señala que la Ingeniería Mexicana, particularmente la Ingeniería de Presas, es punta de lanza en lo que se refiere a su desarrollo, al bien hacer en la planeación, diseño y construcción de centrales hidráulicas. Tenemos varios récords internacionales, con varios puntos de referencia, que a nivel mundial nos hace ser citados y esto se debe a un enorme grupo de trabajo, integrado por un excelente equipo de ingenieros

Las presas hoy en día causan una gran controversia para su construcción y desarrollo desde el punto de vista ambiental y económico, ya que obligan a que se desplacen personas, se contaminen las áreas inundadas por los embalses y sus costos superen en promedio el 30% de lo presupuestado originalmente.

Sin embargo parece paradójico que diversos organismos a nivel mundial impulsen seriamente la construcción de proyectos que suministren energía con fuentes renovables. El tratado de Kyoto ha establecido la necesidad de reducir los proyectos que generan energía con fuentes contaminantes y las emisiones de estos contaminantes fósiles lleguen a la atmósfera, imponiendo por ello cuotas a cumplir, por lo que emite el concepto de bonos verdes, en beneficio de los proyectos con fuentes renovables.

En términos generales, a nivel mundial hay del orden de 36,000 grandes presas, de éstas, 22,000 están construidas en China; 6,600 en Estados Unidos; 4,300 en la India; 2,700 en Japón. En México hay 4,800 presas, de las cuales únicamente 1,017 corresponden a la definición de grandes presas; sin embargo, recientemente en un artículo del “*Hydroelectric Review*” se enfatiza que en América Latina hay un brillante futuro y de hecho así lo es el 60% de la generación de la energía en la región es producto de proyectos hidroeléctricos, a la fecha 400 proyectos están operando con más de 130,000 Mw instalados, 150 proyectos están en construcción que incrementarán en 22,400 Mw la capacidad instalada; 400 proyectos se encuentran en diversas etapas de estudio y como ya se mencionó México en muchos sentidos es la punta de lanza en la Ingeniería de Presas.

Un resumen de la situación puede verse en la siguiente figura. En Itaipú los brasileños ampliaron la capacidad instalada en dos unidades de 700 Mw y la central está prácticamente terminada a un costo de 185 millones de dólares. En México Se acaba de terminar la ampliación de Chicoasen con 930 Mw. El Cajón actualmente está en construcción con 750 Mw de capacidad instalada y en Barra Grande Brasil se terminó el proyecto con 690 Mw e hicieron una presa de enrocamiento con cara de concreto de 196 m de altura (Tabla 1).



Presa Itaipú.

Proyecto	Potencia Unitaria (MW)	Potencia Total (MW)	Costo (M Dólares)	Construcción
Itapú (Brasil)	2x700	1400	185	Alstom-VoithSiemens
Chicoasen (México)	3x310	930	115	Alstom
El Cajón (México)	2x375	750	750	ICA-PENINSULAR-ENERGO

Tabla 1. Proyectos en construcción o recién terminados

Están por licitarse o iniciando su construcción: El Cimarrón, en el Salvador, en proceso de licitación; el Chaparral, también en el Salvador, a punto de licitarse en el presente año; otros proyectos son el de Piedras Amarillas en Honduras y la Parota, que es uno de los proyectos más importantes a construirse en nuestro país.

En particular Itaipú es un proyecto que tiene 14,000 Mw instalados en este momento, y es la planta de generación de energía hidroeléctrica más grande del mundo, ya que genera más que el mismo proyecto de Tres Gargantas en China.

Tres Gargantas tiene una altura de 181 m, en un principio se estimó una afectación de 846,000 personas, sin embargo resultaron cerca de 3 millones las personas afectadas. Va a tener un costo de 25 mil millones de dólares y una capacidad de casi 22,000 Mw instalados.

A pesar de la controversia, la energía hidroeléctrica contribuye con el 20% de la generación de energía en el mundo, lo que ha evitado el consumo de 22 mil millones de barriles de petróleo y 64 países en el mundo dependen enteramente de la generación hidroeléctrica. Recuerdo aquí, lo que dijo Franklin D. Roosevelt, parafraseando a Julio César, cuando vio la instalación de la presa Hoover, "...vine vi y fui conquistado".

El hombre y el ingeniero cuando del agua se trata, se enfrenta a tres problemas básicos a resolver: su calidad, su escasez y el exceso de la misma. Hay un gran desarrollo en materia de hidráulica, sin embargo, la hidráulica, materia que tiene mucho de empírica, ha tenido un

desarrollo entendido por los ingenieros. Decía Galileo Galilei: "es más fácil entender el movimiento de los astros que el del agua", y decía Leonardo Da Vinci: "en cuanto al agua vale más la experiencia que la razón". Hoy en día podríamos decir, que los parámetros de la mecánica de fluidos están mejor entendidos y, de alguna manera, mejor aprovechados en lo que se refiere al uso de las presas y las obras hidráulicas.

Cabría señalar que, en cuanto a disponibilidad del agua, en México se tiene aparentemente una muy buena distribución del agua con 4,700 metros cúbicos por habitante al año, sin embargo en un artículo del periódico Reforma se mencionaba la decreciente disponibilidad del agua que hay en las ciudades en el país.

La expectativa que se tiene en México es que alrededor del año 2040 la población estancará su crecimiento, según indica el Ing. Roberto Duque, y que el país crecerá un 40% adicional en sólo 35 años. El enorme reto para la ingeniería es generar un crecimiento sin precedentes en cuanto a las ciudades, su infraestructura, vivienda, disponibilidad de agua y evidentemente energía.

La precipitación pluvial tiene variaciones significativas en el tiempo y en el espacio, después de intensas precipitaciones, generalmente debidas a ciclones, suceden grandes periodos de estiaje asociados a sequías y las poblaciones se han desarrollado donde existen pocos recursos hidráulicos.

En México el 80% de la población se asienta donde existen el 20% de los recursos hidráulicos y viceversa, un ejemplo de ello es la gráfica que a continuación se muestra en la que prácticamente el escurrimiento medio anual en el país es de 410 mil millones de metros cúbicos, pero de éstos, 60 mil millones ocurren en el río Usumacinta, 30 mil millones ocurren en el río Grijalva y el resto en todo el país.

Para la ingeniería, el descubrimiento del cemento es el hecho tal vez más importante desde que los romanos difundieron el uso del arco en sus construcciones.

La baja permeabilidad del concreto y la posibilidad de darle forma, permite el desarrollo de la in-



Escorrentamiento medio anual en el país

el agua. Las características que hacen al cemento tan importante para las obras de ingeniería es la facilidad de manejo en estado fluido, colocarlo en moldes y dar la forma que se requiere, para que con la reacción química alcancen los cristales la dureza y resistencia necesaria.

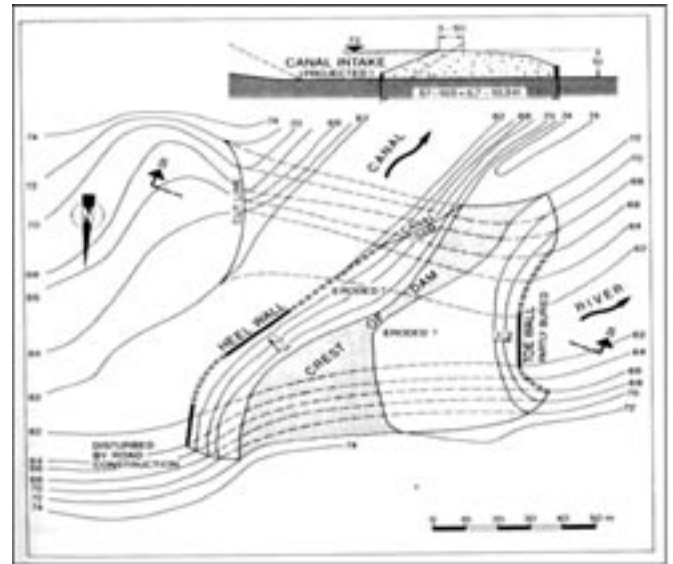
Las obras hidráulicas se inician cuando el hombre se propone dominar los escurrimientos de los ríos, para protegerse de sus crecientes y aprovecharlos para su beneficio.

La primera presa de que se tiene noticias es SAAD-El KAFARA, en Egipto en el año 2500 a.C.

La construcción de presas fue evolucionando, muchas de ellas fallaron, pero algunas otras se perfeccionaron para construirse y constituirse hoy en día en los elementos que les dan la seguridad y funcionalidad y transformar la agricultura de riego.

Algunas obras construidas para conducir el agua en los antiguos asentamientos humanos actualmente están en servicio como es la presa Kofini en Grecia, que se construyó en el año 1260 a. C.

En México se han encontrado vestigios en la presa Purron, en el Valle de Teotihuacán del año 700 a.C., lo cual demuestra que nuestros antepasados también fueron ingenieros que manejaron ampliamente el sentido de las obras hidráulicas.



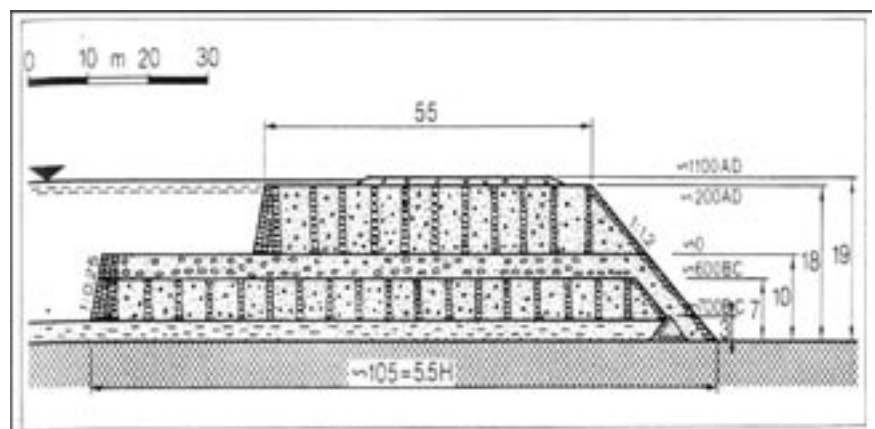
Presa Purron en el Valle de Teotihuacán, 700 a. C

De hecho las presas se han construido y se requieren para modificar la desigual distribución en el tiempo y con los acueductos y las conducciones, la mala distribución en el espacio.

Indudablemente, hay que guardar el agua cuando la hay, para utilizarla cuando se necesite.

El control de avenidas, con la consecuente protección de vidas y propiedades es primordial, un ejemplo de ello, es el control de avenidas que se presentaron en 1999, que fueron las más severas en el sureste mexicano, y que gracias a las Presas del Complejo Grijalva permitieron salvar la infraestructura del país en esa zona.

Hay que utilizar el agua y distribuirla por medio de canales en distritos de riego y acueductos



Presa Kofini, Grecia, 1260 a. C.

y generar la energía eléctrica vital hoy en día. Es importante mencionar que de ninguna manera puede concebirse un proyecto hidroeléctrico y que una presa se pague, si no es con la generación de energía ¡es la forma realista! en que se dé la factibilidad económica.

La ingeniería tradicionalmente ha clasificado las presas en flexibles, (de tierra, enrocamiento y materiales graduados), y presas rígidas, (de gravedad, arcos, machones y contrafuertes).

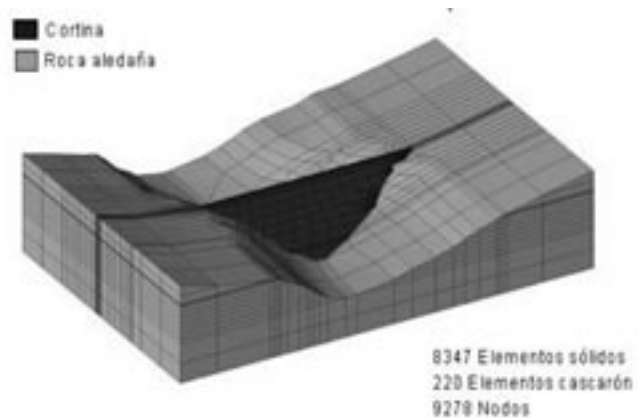
Hoy en día la gran tendencia en la construcción de presas es construir presas de materiales flexibles con enrocamiento y con cara de concreto, como es el caso de El Cajón y como será La Parota y algunas otras más. En cuanto a las presas rígidas tipo gravedad, actualmente se construyen de concreto compactado con rodillo.

La primera presa del tipo gravedad, construida en los tiempos modernos, fue la presa Bouzey en Francia en 1895, que tuvo una falla catastrófica.

Aceptadas las bases teóricas establecidas por Rankine para el diseño de las presas, se aplicaron en la presa Periyar, en la India. Los análisis de presas de arco se establecen a partir de 1920 en la presa Pacoima en California.

Recientemente en el 2004 los brasileños tuvieron una falla en una presa de concreto compactada con rodillos de 55 m de altura; la presa Camará tuvo una falla en la cimentación. La falla en las presas es una enorme preocupación de la ingeniería porque puede causar catástrofes que verdaderamente afectan a la población. Recientemente hemos visto todos las escenas de los efectos de un tsunami con una ola de 15 m de altura, el que falle una presa de 150 m de altura y se rompa aguas arriba de poblaciones, no sólo es una catástrofe nacional si no es una catástrofe internacional, y no debida a la naturaleza, es por eso que se debe poner especial énfasis en las medidas de seguridad en el diseño, construcción y operación de presas.

El método de cargas de prueba para este tipo de presas se estableció en 1926 para la presa Stevenson Creek en California y fue ampliamente desarrollado en América y particularmente en Europa.



Análisis con elemento finito.

Hoy en día el análisis con elemento finito permite una refinación del cálculo antes nunca sospechada.

Para efectos prácticos, de las 36,000 grandes presas reportadas, están manejándose a nivel estadísticas 15,800, el 67% , son de materiales flexibles, de tierra y enrocamiento y el 32% de concreto y mampostería. En nuestro país, terminada la Revolución Mexicana y promulgada la Constitución en 1917, se inició la construcción de la principal infraestructura hidráulica; se crea, en 1926 por el presidente Calles, la Comisión Nacional de Irrigación, por y el presidente Cárdenas crea la Comisión Federal de Electricidad, en 1937.

Fue tan importante este desarrollo que el escudo de la Secretaria de Recursos Hidráulicos era la presa Calles con un distrito de riego y la leyenda: “Por la grandeza de México”. El escudo de la Comisión Federal de Electricidad es un generador hidroeléctrico que dice: “Electricidad para el progreso de México”. Grandes precursores de esta importante obra como son los ingenieros: Carlos Ramírez Ulloa, José Hernández Terán, Aurelio Benasini, Manuel Moreno Torres, José Vicente Orozco, Francisco Torres Herrera, entre los fallecidos. También debe mencionarse a Fernando Hiriart, Alfredo Elías Ayub, Eugenio Laris Alanis y Benjamín Granados Domínguez, que sobresalen en el desarrollo que la Comisión Federal de Electricidad ha tenido en los últimos años, al hacer posible la construcción de grandes proyectos de transmisión y generación.

Debemos reconocer también la participación de Guillermo Guerrero Villalobos, de Leopoldo Arceo Tena, de

son consultores de este importante tipo de proyectos, así como la destacada participación en la práctica profesional de la hidráulica de ingenieros como Oscar Vega Argüelles.

Indudablemente la labor del Instituto de Ingeniería de la UNAM hay que resaltarla con ingenieros como Raúl J. Marsal, José Luis Sánchez Bribiesca y Enzo Levi, el maestro en Ingeniería José A. Maza Álvarez y el Dr. Ramón Domínguez han hecho una muy importante labor en la investigación y enseñanza de la geotecnia, la hidráulica y la hidrología.

No puede dejar de mencionarse la enorme labor, en materia de construcción, de ingenieros como Don Bernardo Quintana Arrijoa y la empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA), que hoy en día son nuestros patrocinadores y varios de sus excelentes colaboradores y continuadores de su empresa con Don Bernardo Quintana Isaac.

También les ofrezco mi reconocimiento a ingenieros como Enrique Heredia, Gilberto Borja, Manolo Salvoch, Luis Horcasitas, Jorge Pérez Montaña, Luis Zárate y Jorge Orozco entre otros, por sus aportaciones y destacada labor.

El hecho de construir los proyectos hidráulicos obedece en México, al igual que en otros países, a la necesidad de controlar los ríos; un ejemplo de este caso es el que sucedió en el proyecto en el río Grijalva, donde hasta 1964, los desbordamientos del mismo ocasionaban que el bajo Tabasco se inundara año con año, la gente vivía prácticamente en troncos de madera donde subían sus recámaras y muebles, teniendo que salir a la calle en lanchas. Regularizado el río Grijalva en el 64, la Comisión Federal de Electricidad decidió construir la presa de la Angostura en 1975. Este embalse es el de mayor capacidad en nuestro país con casi 20 mil millones de metros cúbicos de capacidad, el doble de la laguna de Chapala. En 1980 se construyó Chicoasén con casi 265 m de altura y Peñitas en 1987.

Se puede resumir que la obra hidráulica en México abarca 6 millones de hectáreas de riego, se han construido 70,000 kilómetros de canales, se ha dotado de agua a casi 90 millones de habitantes, creados 700 kilómetros de acueductos y se produjeron del orden de 28,500 kilowatts-hora en el año 2001. Las presas almacenan cerca de 150,000 millones de metros cúbicos, del orden del 35% del escurrimiento. Aun así, se debe mencionar la imperiosa necesidad que tenemos para ofrecer muchos más proyectos, que permitan regular el agua y entregarla con la calidad y cantidad de lo que requeriremos en un futuro cercano.

Recientemente, en una entrevista, presenté la visión de que los proyectos hidráulicos tienen que ofrecerse como proyectos multipropósitos que permitan generar polos de desarrollo y no solamente aprovecharlos desde el punto de vista de energía, sino también ofrecer el agua potable que requieren las poblaciones, el control de las avenidas, las áreas de riego necesarias y en forma importante el beneficio adicional del turismo que estos mismos proyectos ofrecen.

Desde el punto de vista de suministro de agua, los ingenieros tenemos que mejorar la eficiencia en el uso de la misma, en zonas áridas recargar los acuíferos, reciclar las aguas industriales, almacenarla y conservarla consecuentemente.

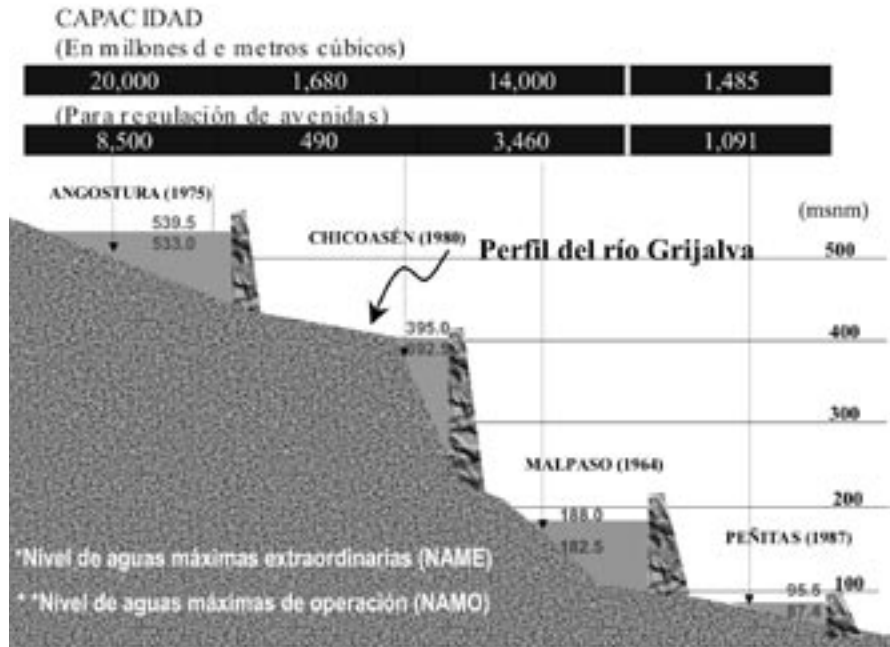


Tabla de construcción de presas

El registro de las presas construidas en México hasta 1996 es de 1,017, éstas pertenecen a la Comisión Nacional del Agua, a la Comisión Federal de Electricidad y a la entonces llamada Secretaría de Agricultura y Ganadería.

Muchas de estas presas fueron construidas por particulares y sin duda no están reportadas algunas para fines estadísticos en resumen; del orden de 173 presas pertenecieron a la Comisión Nacional de Irrigación, posteriormente pasaron a la Secretaría de Recursos Hidráulicos; cerca de 130 presas pertenecen a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y sólo 53 a la Comisión Federal de Electricidad. Se debe señalar que las presas más altas del mundo, y para referencia, han sido construidas por esta institución.

Para propósitos de riego, en el año de 1550 se represó la laguna de Yuriria en el bordo de Tavamatacheo, dos siglos después se construyeron las presas El Saucillo y Ñadó en el estado de México.

De las presas construidas por particulares a fines del siglo XIX destacan la presa Belén, en Guanajuato, El Peinado, en Chihuahua, San José, en San Luis Potosí; las primeras para irrigación y la última para abastecimiento. Aunque en México no han existido grandes fallas o fallas de presas importantes, en el 2003 se presentaron tres fallas de presas, porque se decidió darlas al uso de particulares y éstos no respetaron el agua y las condiciones requeridas para sobre elevar una presa; las presas que estaban de alguna manera fracturadas fallaron en San Luis Potosí y en Zacatecas, por lo que considero que habría que hacer una muy fuerte labor de concientización de lo que implica este tipo de estructuras en su concepción de operación.

En 1889 se instaló en Batopilas, Chihuahua, la primera hidroeléctrica de México y la primera central de generación de electricidad se dio con este proyecto; 20 años después se construyeron las presas de Tenango, Necaxa y Los Reyes, para la Mexican Light and Power Company, y se construyó también la presa La Boquilla, en 1910.

Desde principios del siglo XIX, se han construido obras hidráulicas muy importantes que con más de 100 años de antigüedad continúan operando con buenos resultados, un ejemplo de esto es Los Colomos,

en Guadalajara, que sigue abasteciendo de agua a un sector importante de la ciudad, algunos otros ejemplos están señalados en la siguiente figura.

La presa El Infiernillo, en Guerrero, ha sido tal vez el laboratorio a escala natural de las presas en México; es la única presa grande a nivel internacional que ha resistido un sismo como el del 85 de 8.1° , en la escala de Richter, sin ninguna falla importante, sólo algunos agrietamientos transversales; también recibió una avenida de casi $25,000 \text{ m}^3/\text{s}$, cuando la máxima estimada era de 28,000, por lo que se considera que el comportamiento de la presa ha sido muy exitoso.

El Infiernillo dejó las bases en muchos sentidos de lo que significó la construcción de grandes presas; en su tiempo fue la presa de enrocamiento con muro de arcilla más alta del mundo y fue construida por la Comisión Federal de Electricidad, por la empresa Ingenieros Civiles y Asociados. En 1964, se construyó también la presa de la Venta, la cual en 1967 tuvo un desbordamiento total; en 1964 se construye la presa Plutarco Elías Calles, en Sonora; Malpaso sobre el río Grijalva y en 1975 se construye la presa La Angostura.



Presa hidroeléctrica "El Infiernillo", Guerrero (1963)

Chicoasén es tal vez la joya de la corona en cuanto se refiere a generación de energía, Chicoasén es un proyecto que se hizo con la conjunción de varias empresas mexicanas; la cortina de 265 m de altura es la cuarta en altura total a nivel mundial y es la más alta de tipo enrocamiento con núcleo de arcilla. En este momento que hemos terminado el sobre-equipamiento de Chicoasén, ofrece una capacidad instalada de 2,430 Mw, que es la mayor capacidad de energía en una sola central de generación en el país. Peñitas, en Chiapas se construyó en 1987 y el Caracol en el río Balsas en 1988.

Aguamilpa en Nayarit marcó un hito en cuanto a las presas de enrocamiento con cara de concreto por varios años con 187 m de altura, fue el punto de referencia de la ingeniería de presas a nivel mundial. Continuamente los consultores de presas nos referían como el bien diseñar y el bien construir de lo que significaba este tipo de presas; esta presa fue construida por la Comisión Federal de Electricidad y por la empresa ICA y se terminó en 1994.

Zimapán se terminó en 1995 y es también un punto de referencia en varios aspectos: tiene una cortina de arco de 200 m de altura, un túnel de 22 km que sólo filtra hoy en día 25 l/s en toda su longitud y una caída de 603 m en la salida de la casa de máquinas.



Presa hidroeléctrica "Zimapán"



Presa hidroeléctrica "Huites" (1996)

La presa Huites marcó un record internacional y no ha habido otro en cuanto a la rapidez en la colocación del concreto hidráulico; el proceso de Huites fue tomado y es tomado por Tres Gargantas como ejemplo de colocación.

¿Qué tenemos previsto para el futuro? ¿Qué significa este legado de la ingeniería para el país? Indudablemente se tendría que señalar que a nivel planeación, se tienen identificados 512 proyectos como posibles; del orden de 30 proyectos a nivel prefactibilidad perfectamente identificados en su fase de poderlos construir a la brevedad posible, además de otros 30 a nivel factibilidad.



Proyecto hidroeléctrico em prefactibilidad



Proyectos hidroeléctricos de factibilidad

De éstos y en relación con los que se están construyendo, enumeramos que se terminó la ampliación Moreno Torres de Chicoasén con 2,430 Mw, El Cajón, en proceso de construcción con 750 Mw, y también en construcción la presa reguladora Amata, aguas abajo de la central Comedero, que permitirá incrementar la generación en esta central; está en diseño La Parota, en el estado de Guerrero, lista para cuando se termine la gestión social y así poderla licitar.

Al fin del año 2004 tendremos La Yesca; si los brasileños hicieron Barra Grande con 196 m, el pro-

yecto de La Yesca implica una cortina de 210 m, por lo que volveremos a ganarles a los brasileños.

En el corto plazo además de La Parota, se tiene prevista La Villita que deberá entrar en operación para el 2011, un proyecto sumamente interesante es la repotenciación del Infiernillo, y el proyecto de Copainalá aguas abajo de Chicoasén.

La Parota es indudablemente un gran proyecto desde el punto de vista de propósitos múltiples, además de generar energía que es para lo que la queremos construir, permite garantizar el agua potable para Acapulco durante los próximos 50, 60 u 80 años, así como lograr un desarrollo turístico impresionante a sólo 28

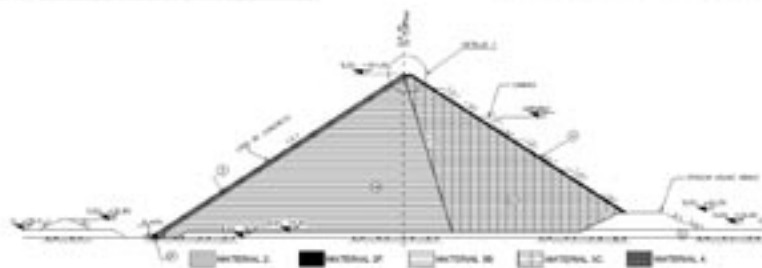
km del puerto de Acapulco y el crecimiento de la zona Diamante, y también se logrará regular las avenidas aguas abajo de la presa. En este momento tenemos completamente definido el proyecto, el cual es capaz de resistir un sismo de 8.2° en la escala Richter, que es el máximo estimado frente a la falla, a la zona de la brecha de Guerrero y creemos sinceramente que si se presentara este sismo máximo, increíble en la zona de La Parota, sería más seguro estar en La Parota que en cualquier otro lugar, incluyendo la ciudad de México, porque este sismo sería más fuerte y más grave que el que se presentó en el 85.

En La Yesca prácticamente el esquema de obras está definido, el tipo de presa también y se han concluido

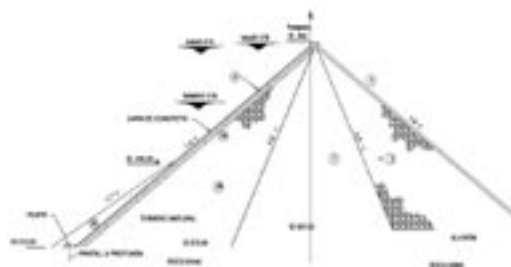
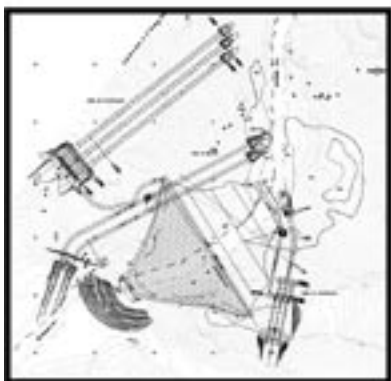
los estudios geológicos y geotécnicos; consideramos tener lista la licitación para finales del año 2004. Si se inicia La Parota en este sexenio no se tendrá la licitación de La Yesca y sin embargo creemos, sin temor a equivocarnos, que el próximo proyecto sexenal sin duda será La Yesca. Está prácticamente terminada la ingeniería y toda la experiencia que tuvimos en El Cajón para poderlo construir. Un ejemplo interesante sería el que les menciono a continuación de la ampliación Zimapán.

Zimapán en este momento genera doce horas al día, con 292 Mw, un factor de planta de 0.5, lo que representa una regulación muy importante hacia la ciudad de México.

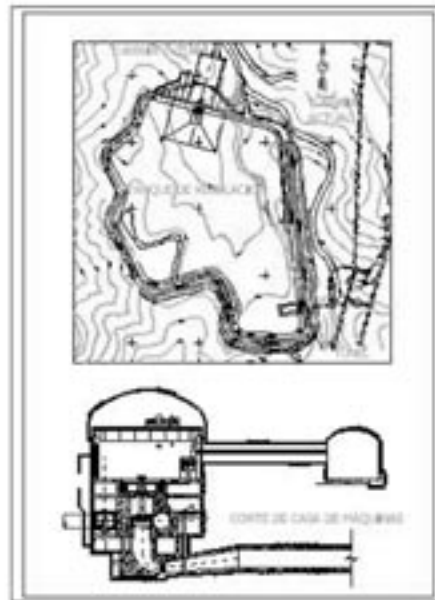
El proyecto de la ampliación consiste en hacer un tanque de 2.5 millones de m³ (ver siguiente figura), una casa de máquinas adicional de 580 Mw que permitirá bajar el factor de planta de 0.5 a 0.2 y generar solamente en las horas pico, en las que se requiere mayor demanda. El concepto evidentemente es fácilmente entendi-



Proyecto hidroeléctrico La Parota



Proyecto hidroeléctrico La Yesca



Proyecto de Ampliación, presa hidroeléctrica Zimapán



Central hidroeléctrica Zimapán. Actualmente



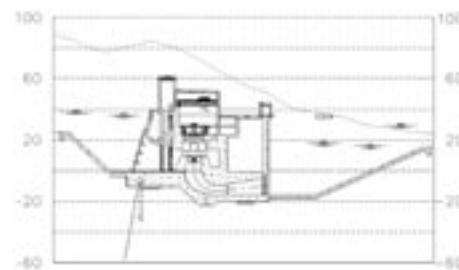
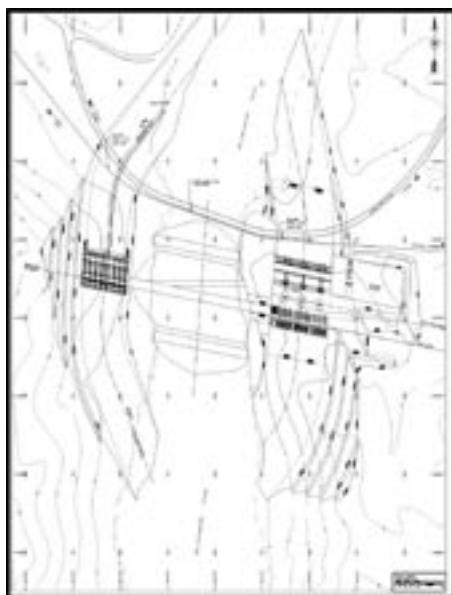
Tanque de generación. central hidroeléctrica Zimapán

ble, si pudimos incrementar la potencia en Chicoasen a 1,100 km de distancia, ¿qué significa este proyecto a 130 km de la ciudad de México? Representa un enorme respaldo en cuanto a potencia y generación, y poderle dar energía a nuestros amigos de Luz y Fuerza. Cabe mencionar que ni la CFE, ni Luz y Fuerza cobran las tarifas, las tarifas las pone la Secretaría de Hacienda. Tenemos varios proyectos identificados como posibles a mediano plazo, entre las presas que ya están construidas, Novillo-Oviachic, en Sonora, y la posibilidad de generar cinco proyectos nuevos que permitirían la generación de casi 810 kw, susceptibles de poderles dar energía a las ciudades y a

las empresas mineras que se desarrollan en esa zona; el tramo Zimapán, Piedra Blanca, permitirá también con casi 400 millones de dólares generar tanta energía como El Cajón. Éstos son proyectos que se pueden construir muy fácilmente aunque tienen hidrografía difícil, pero que verdaderamente pueden construirse en el corto y mediano plazo.

En el tramo Caracol-Infiernillo se pueden producir casi 3,200 millones de kwh, que es lo que produce Infiernillo en este momento; a largo plazo también se tienen identificados varios proyectos. Pozolillo en Nayarit debería de ser una muy fuerte posibilidad de desarrollo, aguas abajo de Pozolillo hay distritos de riego que hoy en día no se aprovechan porque las avenidas afectan seriamente la cuenca. Otros proyectos son Ixtayutla en río verde Oaxaca, Madera en Chihuahua y Omitlán en Guerrero, donde se tendría la posibilidad de generar proyectos de acumulación de energía por rebombeo. Otra idea que tenemos ahora es aprovechar la energía eólica para producir el bombeo mientras tengamos la posibilidad de las turbinas hidráulicas para la potencia en horas pico. Menciono que existen proyectos con problemática para su desarrollo como Itzantún, San Juan Tetelcingo y Tenosique, este último en Tabasco es un ejemplo importante que habría que señalar.

El río Usumacinta, como mencioné anteriormente, ofrece un escurrimiento de casi 60,000 millones de m³, originalmente se había pensado en una presa de 130 m de altura que tuvo una enorme oposición; hoy en día estamos concibiendo los proyectos del río Usumacinta, en el sitio de Tenosique con proyectos de baja carga de 25 m de altura, que permiten alcanzar el máximo nivel, que año con año se tiene con inundaciones en el sitio. Tal vez la comparación más importante que habría que hacer es el río Usumacinta con el río Danubio en Europa. El Danubio tiene un escurrimiento del 75% del Usumacinta, escurre en prácticamente siete países y a la fecha los europeos han instalado 29,000 Mw en el Danubio, mientras nosotros no hemos sido capaces de instalar 1 kw en el Usumacinta.

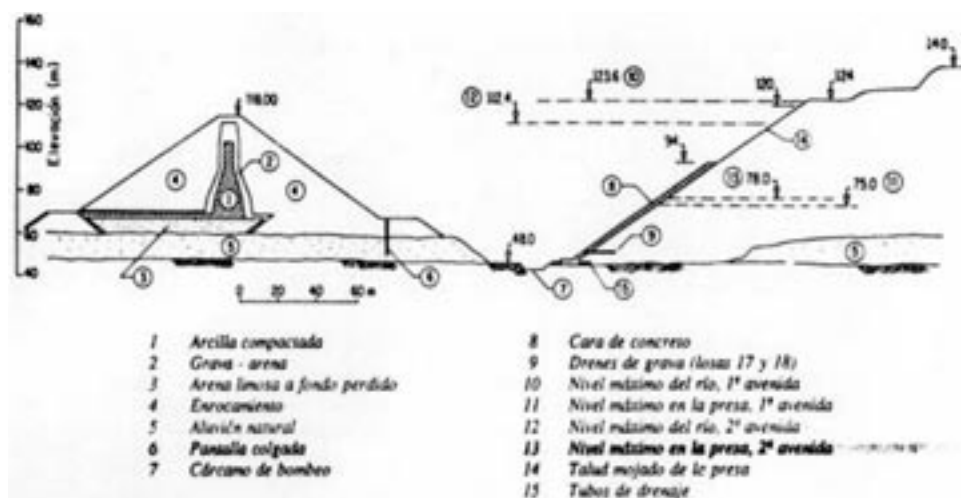


Proyecto: Tenosique, Tabasco. Corte longitudinal de la casa de máquinas

El ejemplo más reciente, es el de los austriacos que construyeron una presa llamada Freudenu, exactamente en la salida de la ciudad de Viena, que se terminó en 1998, fue un proyecto exactamente con la concepción que tenemos en Tenosique y sin embargo, ellos sí pudieron a pesar de las oposiciones ambientales y sociales, en cambio hoy en día a nosotros no nos lo permiten. El proyecto de Tenosique también aprovecharía el tramo conjunto con Guatemala.

Un ejemplo de ingeniería fue lo hecho en Aguamilpa, construida entre 1991 y 1994, con el objeto principal de generar energía y controlar avenidas, es una presa de enrocamiento con cara de concreto, de 187 m que la convierte en la más alta del mundo en su tipo. Durante 1992 se presentaron las mayores avenidas registradas en 50 años, el agua rebasó la ataguía de 55 m de alto y se almacenó entre el recinto comprendido entre la ataguía y la cortina. A fin de evitar el colapso de la estructura, se tomó la decisión de abrir un tajo en la corona del dique fusible, el cual empezó a degradarse y el agua entró al recinto como estaba previsto. Afortunadamente cuando este evento se presentó el avance de la cortina permitió tener las losas hasta la elevación de 92 m y práctica-

Los brasileños junto con los paraguayos han construido Itaipú, y tienen previstos, los paraguayos con los argentinos otros proyectos más; sin embargo nosotros no nos podemos poner de acuerdo. Los proyectos del Usumacinta producirían 8,000 kwh, que es del orden del 4% en la producción de energía a nivel nacional, por lo que deberíamos insistir en poderlos construir.

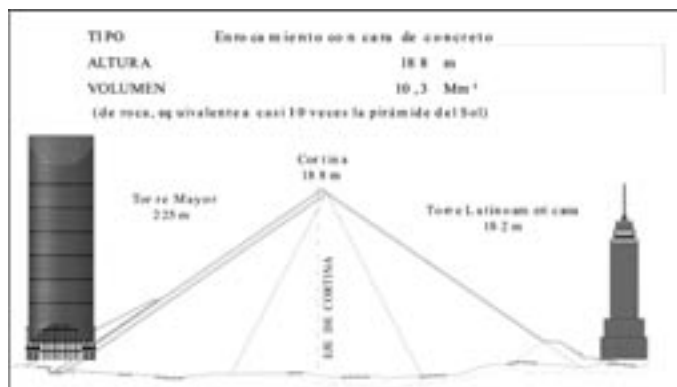


Presa hidroeléctrica "Aguamilpa", tajo en la corona del dique fusible

El esquema del proyecto estuvo totalmente definido, Comisión Federal de Electricidad proporcionó la ingeniería básica, la ingeniería de detalle del desvío y algunos aspectos adicionales a la ingeniería básica, sobre todo en la parte electromecánica. Las especificaciones que da la Comisión Federal de Electricidad con el grupo que encabeza el Ing. Miguel Ángel Izquierdo representan, prácticamente, la ingeniería de detalle en este tipo de proyectos. Las obras de desvío son dos túneles de 14 m, con rugosidad compuesta, en donde cabría perfectamente un edificio de 5 pisos.

El periodo de retorno, con la rugosidad compuesta, se incrementó de 50 a 100 años por lo que se está duplicando la capacidad y se está disminuyendo la mitad del riesgo en su proceso de construcción. Ya se presentó en septiembre de 2003 una avenida del 75% de la capacidad máxima, estamos esperando el 2005 con optimismo porque las ataguías están prácticamente terminadas, así como todos los tratamientos en los túneles de desvío. Cuando nos visiten los alumnos les va a llamar mucho la atención el proceso que significa el manejo de los túneles al dejar un túnel a desnivel y poder hacer todo este tipo de trabajos. La cortina finalmente va a tener 188 m de altura, por una falla que encontramos en el cauce aguas arriba del río. A la fecha se tienen colocados 3,663,000 m³, y al día de hoy ya creció 30,000 m³ más, la cortina crece del orden de 4 m por día en su colocación.

Otro aspecto muy importante fue que al colocar agua, en el proceso de construcción de la cortina, logramos provocar la consolidación que se producía en una forma secundaria posterior a la construcción; lo que lleva a colocar casi 200 litros de agua por m³ de roca, que representa un enorme esfuerzo, pero que



Obra de contención

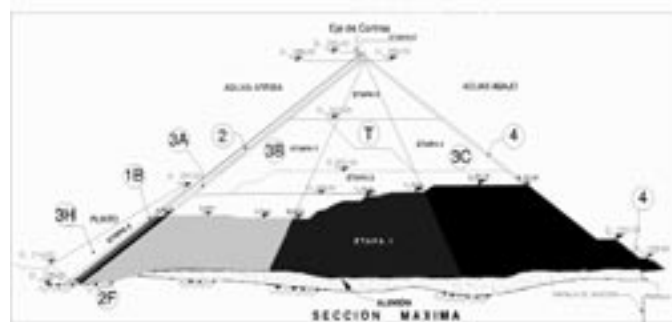
verdaderamente vale la pena en cuanto a la calidad de la construcción del terraplén. Estamos en proceso de colocar el concreto estruzado, que es un concreto plástico que va a permitir recibir la losa definitiva que va a dar la impermeabilidad. Prácticamente el proceso ya está dominado, perfectamente establecido, y es lo que está marcando la pauta para la colocación de materiales en la cortina.

Con la Facultad de Ingeniería de la UNAM, participando el Dr. Alberto Jaime y el Ing. Carlos Chavarri estamos estableciendo un proyecto para estimar cómo sería o cuál sería el comportamiento del material rocoso con métodos indirectos, con métodos que permitiesen con refracción sísmica, contrarrestar o comparar junto a los módulos de elasticidad considerados en el diseño. Realmente es un proceso muy interesante que debe enriquecernos para futuras presas e inclusive para esta misma, y que su conocimiento debe aportar a los estudiantes mismos en todos los procesos de tesis y de desarrollo para este tipo de proyectos.

Los invito también a visitar el laboratorio de hidráulica que tiene la Comisión Federal de Electricidad en Cuernavaca, vale la pena ver el trabajo que se hace en la modelación de este tipo de proyectos y las decisiones, que se pueden tomar a partir de este tipo de soluciones.

La obra de excedencias también está en pleno proceso de construcción, es capaz de descargar 15,000 m³/s, se está colocando todo el acero de refuerzo en la zona del Cimacio, el avance es significativo en esta parte de la obra, prácticamente no va haber ningún retraso.

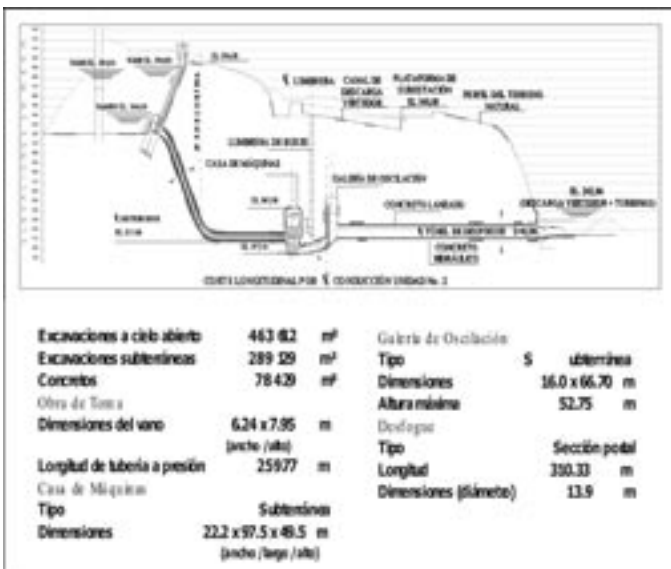
La obra de generación tiene un avance significativo, está comprendida por la obra de toma, casa de máquinas, la galería de oscilación y el túnel de desfogue. La caverna propiamente de la casa de má-



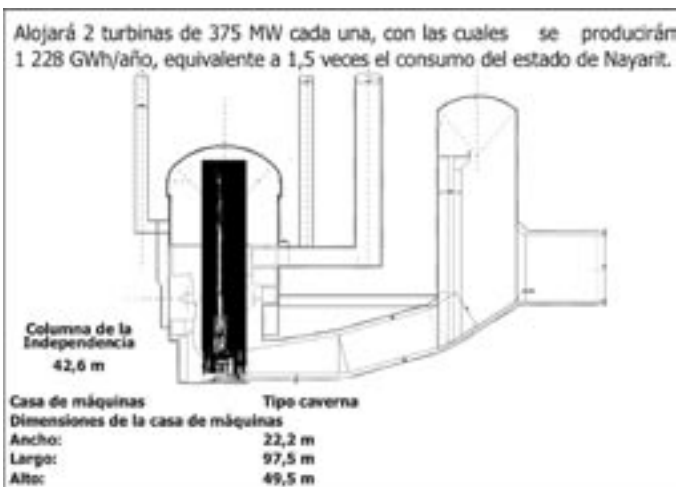
Volumen de colado 3,663,773 m³



Cimentación en la presa hidroeléctrica "Cimacio"



Avances en la construcción de la presa hidroeléctrica "Cimacio"



Casa de máquinas de la presa hidroeléctrica "Cimacio"

quinas podría alojar la columna de la Independencia, ya están colocadas todas las columnas que va a recibir la grúa viajera, que ya está en el sitio colocada y se tiene terminada la excavación de la casa de máquinas, estimamos, en 22 meses tener ya la generación del proyecto.

El Cajón va a marcar un hito en cuanto al programa de construcción, indudablemente vamos a poder construir un proyecto de estas dimensiones en mucho menos tiempo en que lo hace la práctica mundial de la ingeniería.

Las fechas claves fueron el 26 de marzo de 2004, que fue la firma del contrato, y el 3 de mayo del mismo año, que a pesar de muchos jalones por el camino, fue la fecha en la que se inició la obra. Está previsto hacer el cierre final el 1° julio de 2005. En este momento estamos revisando los programas que permitan realizar el cierre con éxito y sin ningún problema y estamos seguros de poder alcanzar estas fechas. Contractualmente está previsto para el 28 de febrero de 2007 rodar unidades. Como mencioné esperamos llegar finalmente a poder generar en el 2006, batiendo varios de los récords, y sobre todo cumpliendo con la calidad requerida, no haciendo las cosas al aventón.

Esta obra permite incrementar en 750 Mw la capacidad instalada y se va a generar fundamentalmente en las horas pico con una capacidad de 1228 Gwh.

En relación con los aspectos sociales, en enero de 2004 el Presidente de la República inauguró el puente Santiago, que era una demanda muy fuerte que tenían los nayaritas para comunicarse hacia los altos de Jalisco.



Dimensión de la casa de máquinas



Ubicación de las obras

co, poder salir a la ciudad de Tepic para tener atención médica y un comercio mucho más intenso.

Reconocemos que gracias al apoyo brindado por la empresa, hemos podido ofrecer varias visitas importantes para los alumnos, los exhorto y sigo invitando a estar presentes en esta importante obra que es El Cañón. Esta es una obra de México, no es una obra que nos pertenece solamente a nosotros.

Para terminar quiero señalarles algunos puntos de reflexión y no perder la ocasión de poderles mencionar que, salvo contadas excepciones, políticamente tenemos un muy reducido foro de expresión. Hoy solamente un ingeniero civil tiene un puesto importante a nivel gabinete, como lo es el ingeniero Alfredo Elías director general de la Comisión Federal de Electricidad, cuando en otras épocas los ingenieros civiles tenían muchísima voz y voto en muchas de las decisiones del país; estamos subdivididos a la vez en numerosas asociaciones o sociedades, no tenemos posibilidad de acción en muchas decisiones importantes. Alguna crítica al interior que hacemos, es que muchas veces debemos atenernos a los señores contadores, sin

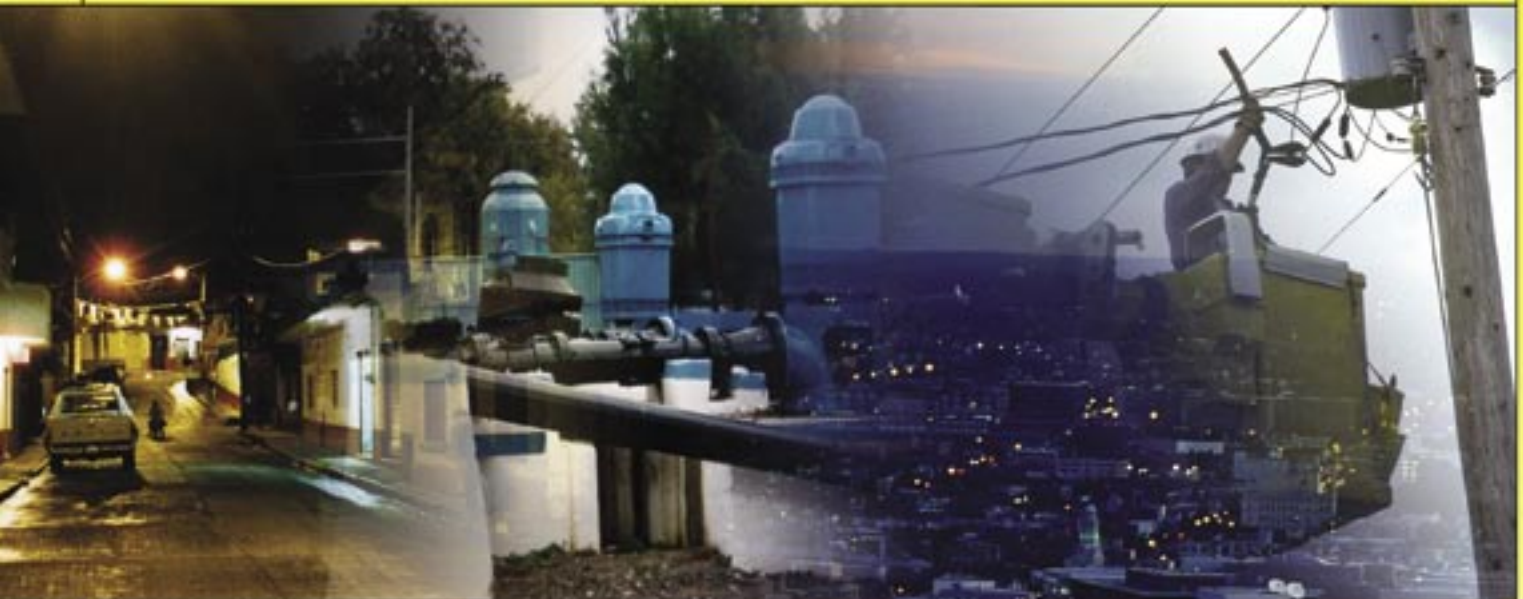
menospreciar, no nos oponemos porque si, ni mucho menos, a las decisiones que ellos hacen, no a las que necesita el país, no a las que los ingenieros proponen.

Cada vez más, hay menos alumnos en las carreras de ingeniería, dejamos de tener la posibilidad, a semejanza de otros países, de integrarnos a un sólo grupo técnicamente, hoy en día el grupo 2025 de ingenieros civiles de México hace una labor extraordinaria, que debemos hacerla nuestra todos los involucrados en la ingeniería del país: habría que marcar el liderazgo y un camino a seguir en forma integral. Tal vez para nosotros las oportunidades se han reducido, sin embargo los jóvenes deberían tomar ese reto.

La infraestructura que el país necesita debe ser el resultado de una planeación y ejecución de excelencia. Sin duda la ingeniería de este país la ofrece, sin duda las escuelas lo ofrecen. Atrevámonos a proponer un México mejor, que nos permita en forma incluyente, considerando los aspectos políticos, sociales y ambientales poder heredar a nuestros hijos una mejor forma de vida.

AHORRE

energía eléctrica



El FIDE financia su municipio hasta con \$500,000.00 sin intereses...

Para proyectos de ahorro de energía eléctrica en iluminación, bombeo, aire acondicionado y alumbrado público.

El municipio selecciona a su proveedor o contratista.

Más de 200 municipios ya están ahorrando hasta un 40%

¡ Llame hoy mismo, con gusto le atenderemos !



**Fideicomiso para el Ahorro
de Energía Eléctrica**

Gerencia de Servicios Municipales Teléfono en el D.F.: 5250-5870
Conmutador: 5254-3044 ext.: 96-040, 96-041, 96-015 Fax ext.: 96-032
Llame sin costo: 01 800 5086 417 Celular: 0155 5967 8603
torresesteban@terra.com.mx www.fide.org.mx

Modelos numéricos para la simulación del comportamiento de aireadores en vertedores de grandes presas

*M. Salinas-Vázquez, W. Vicente, M. García,
R. Val, E. Carrizosa, A. Rodríguez y A. Palacio*

Instituto de Ingeniería, UNAM

Resumen

Dos modelos numéricos son estudiados para predecir el comportamiento del aire en los aireadores de los vertedores de grandes presas, así como su incorporación al flujo de agua. El primero se basa en una expresión empírica, mientras que el segundo en el balance local de la turbulencia y los factores que mantienen en equilibrio a la superficie libre del agua, como son la tensión superficial y la fuerza de gravedad. Ambos modelos son usados para estudiar y cuantificar la eficiencia de aireadores, para los cuales existen datos experimentales. Las predicciones numéricas son comparadas con datos experimentales.

Introducción

En este inicio de siglo, la construcción en México de grandes presas, ha traído consigo que los gastos de descarga sobre las obras de excedencias sean cada vez mayores. La consecuencia inmediata de esta acción es la erosión del material del vertedor debido al fenómeno de cavitación (Knapp, 1970). La cavitación se produce cuando la capa de agua próxima al piso del vertedor se encuentra con imperfecciones que causan la separación de la capa límite. Por esta separación, se produce una disminución local de la presión del agua. Si esta subpresión es menor que la presión local de evaporación del agua, se genera la formación de burbujas de vapor de agua, que al viajar a zonas con mayor presión, implotan generando consigo esfuerzos sobre el piso del orden de los MPa. La gran magnitud de estos esfuerzos inicia e incrementa la socavación en el piso y paredes del vertedor.

Experimentalmente se ha comprobado que el ingreso de aire al flujo de agua que transporta el vertedor, evita en gran medida la erosión (Chanson, 1991). Petarka (Wood, 1991) observó que cuando el flujo de agua transporta más de 6% en volumen de aire, los daños por cavitación se eliminan por completo. Con base en estos resultados, la introducción de aire en la capa de agua se hace necesaria. Una buena cantidad de aire ingresa por la superficie libre, sin embargo las diferencias de densidades no permiten el ingreso de este a las zonas críticas, piso y paredes, además de que su evacuación es casi instantánea. Una opción para ingresar aire en estas zonas críticas es el aireador. El aireador es una estructura que se compone de escalones, rampas, y/o ductos, que inducen la entrada de aire por la parte inferior de la lámina del flujo de agua. La rampa y/o el escalón forman una cavidad en el piso del vertedor, que genera una separación de la capa límite. Esta separación produce una zona de sub-presión, y la diferencia de presiones conduce aire del medio ambiente a través de conductos al aireador. El aire es incorporado en la parte baja de la capa de agua, debido al comportamiento turbulento del chorro de agua que pasa sobre el aireador. Los factores importantes para que el aire ingrese en las zonas deseadas y se mantenga lo más posible dentro del agua son la posición y geometría del aireador.

En los últimos años, los vertedores en escalón han demostrado una gran disminución de los daños por cavitación (Chanson, 2003). Sin embargo, el gran tamaño de algunas presas puede producir problemas estructurales en dichos vertedores, o la magnitud de la obra la hace económicamente prohibitiva.

En trabajos previos (Salinas, 1994a; Salinas, 1994b) se realizó un estudio numérico de los aireadores del P.H. Luis Donaldo Colosio (Huites) en el estado de Sinaloa. En esta investigación se utilizó una expresión empírica para modelar la entrada de aire, y se calibró tanto para los aireadores de Huites como para los de la presa de Foz do Areira en Bra-

sil, mostrando buenos resultados. Sin embargo, para la obtención de las constantes empíricas que tiene el modelo se requirió una serie de datos experimentales. Además, se tuvo el inconveniente de que su extrapolación a otras formas o tamaño del mismo vertedor/aireador fue difícil o imposible. Con el objetivo de evitar las dificultades observadas, se desarrolló un nuevo modelo numérico que se basó en el cálculo de la entrada de aire a partir del comportamiento turbulento del flujo y de las fuerzas que actúan en la superficie libre del agua (Salinas, 2004).

En este trabajo se presentan y aplican ambos modelos numéricos, antes descritos, y se comparan sus predicciones con datos experimentales, esto con la finalidad de realizar un estudio detallado del comportamiento aire/agua dentro de los aireadores. Todos los estudios son enfocados, principalmente, en el modelo 1:21 del P.H. Luis Donaldo Colosio, Huites Sinaloa, debido a que se cuenta con mediciones experimentales para este modelo físico.

Configuración física del vertedor y aireadores del modelo 1:21 del P.H. Luis Donaldo Colosio



Fig. 1a. P.H. Luis Donaldo Colosio, Huites, Sinaloa

El P.H. Luis Donaldo Colosio, mostrado en la figura 1a, se encuentra en el límite norte del estado de Sinaloa. Este consta de una cortina de 166 m de altura y su obra de excedencias está formada por un vertedor doble que tiene una plantilla con un tra-

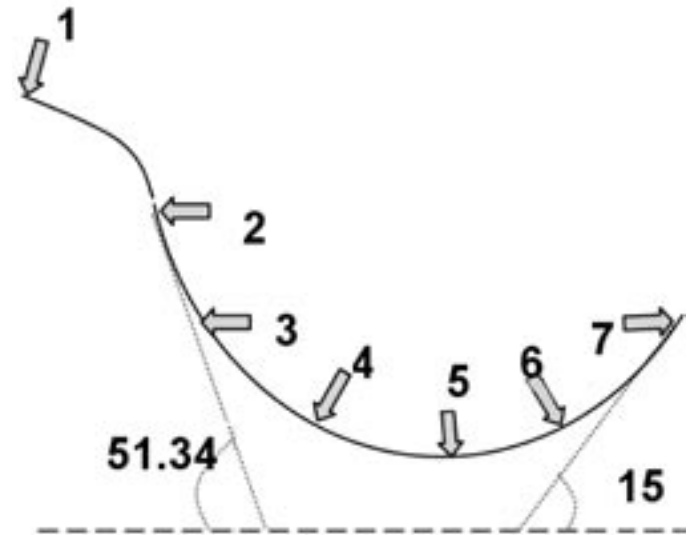
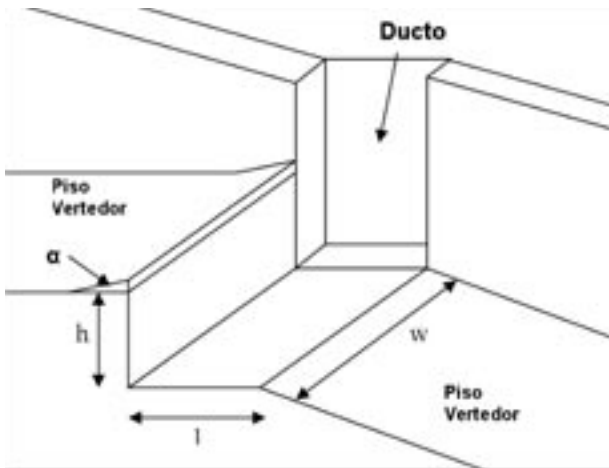


Fig. 1b. Esquema de los vertedores que se muestran en la margen izquierda de la presa.

mo parabólico y una cubeta circular, figura 1b. En su diseño, el vertedor se dividió en siete secciones con el fin de encontrar las zonas más críticas, con respecto al fenómeno de la cavitación (Sánchez, 1992). Los aireadores que se implementaron en las secciones 3 y 5 del vertedor, son del tipo escalón-rampa, donde la inyección de aire se produce por ductos colocados en las paredes laterales del vertedor. Los gastos para los cuales se diseñó el vertedor prototipo son de 2200 a 9500 m³/s.

Para estudiar y comprender mejor el funcionamiento de los aireadores, se construyó un modelo 1:21 de uno de los vertedores en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto de Ingeniería, UNAM. El vertedor y los aireadores tienen las características mostradas en la figura 2. Ambos aireadores del modelo son del tipo escalón-rampa. El ducto por donde entra aire del ambiente al aireador se trata de una ranura en las paredes laterales de sección rectangular de 0.26 m por 0.072 m, para el aireador denominado 5 y de 0.112 m por 0.096 m para el aireador denominado 3. Cabe mencionar que el prototipo final tiene tres aireadores y no dos como en el modelo.

En la figura 3 se muestra una fotografía del modelo 1:21 vertedor y de los dos aireadores. Las dos zonas más claras en la capa de agua, indican la presencia de una gran cantidad de aire en esta debida a los aireadores.



	Sec. 3	Sec. 5
h [m]	0.105	0.081
l [m]	0.11	0.142
w [m]	0.843	0.843
α [°]	0	5.5

Fig. 2. Configuración de los aireadores

Modelo numérico

Los dos modelos numéricos presentados en este trabajo, se basan en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes: ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento (con las sobre-barras que denotan usualmente un promediado de Reynolds y que son canceladas por simplicidad):



Fig. 3. Fotografía del modelo 1:21 del vertedor del P.H. Luis Donaldo Colosio, Huites, Sinaloa

$$\frac{\partial u^i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

donde u_i es el vector velocidad, x_i es el vector posición espacial, ρ la densidad, p la presión, ν y ν_t son las viscosidades molecular y turbulenta respectivamente. Las ecuaciones (1) y (2) son resueltas usando un método de volúmenes finitos, con un algoritmo del tipo SIMPLEST (Patankar, 1980) para resolver el acoplamiento presión-velocidad. El término de convección turbulenta, que resulta del promediado de las ecuaciones se modela con el modelo $k-\epsilon$ estándar. En este modelo, la viscosidad turbulenta es calculada como:

$$\nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

donde C_μ es una constante, k y ϵ son la energía cinética turbulenta y su tasa de disipación respectivamente. Los valores de k y ϵ son calculados de sus respectivas ecuaciones de transporte (Launder y Spalding, 1974).

En el segundo modelo que se estudiará en la sección 4.2, se considera un flujo cuasi-bifásico agua/aire. Para considerar el movimiento tanto del agua como del aire, se utiliza el método de la ecuación escalar (Hernández, 1996; CHAM, 2005). Este método diferencia el agua del aire a partir de un escalar cuyo valor varía de cero a uno; $C=1$ sólo agua y $C=0$ sólo aire. Un valor de $1 > C > 0$ indica una celda que contiene tanto aire como agua, superficie libre. El escalar C , se resuelve a partir de una ecuación de transporte sin término de difusión:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_j \frac{\partial C}{\partial x_j} = 0 \quad (4)$$

Para preservar la naturaleza discontinua de C , se utiliza el esquema convectivo de Van Leer, cuyo propósito es reducir la difusión numérica que ocasiona la pérdida en la definición de la superficie libre, y asegurar que el valor de C permanezca entre 0 y 1. A partir de la

resolución de la ecuación (4), la determinación de las propiedades de los fluidos se puede dar como:

$$\Phi_m = \Phi_a + (\Phi_w - \Phi_a)C \tag{5}$$

donde Φ es alguna propiedad de los fluidos, y los subíndices indican: mezcla (m), aire (a) y agua (w).

Modelos numéricos para la entrada de aire en el flujo de agua

Una expresión analítica exacta para calcular la entrada de aire en el flujo de agua no existe. Sin embargo la experimentación y el análisis dimensional han permitido establecer las principales variables que influyen en este proceso. A partir de este método se tiene la relación (Chanson, 1989):

$$\beta = f(Fr, We, Re, Pn, Geom, Tu) \tag{6}$$

donde β es la proporción entre gastos volumétrico, el de aire que ingresa al agua y el de agua; Fr , We y Re son respectivamente los números de Froude, Weber y Reynolds; Pn es la subpresión dentro del aireador con respecto a la presión atmosférica; Tu es el nivel de turbulencia de la capa de agua y $Geom$ son las características geométricas del aireador y del vertedor. De acuerdo con los trabajos de Kobus, Pinto & Laali y Michel (Chanson, 1989), los números de Weber y de Reynolds no influyen significativamente si estos son: $Re > 100\ 000$ y $We > 400$. Valores muy por debajo de las condiciones normales de un vertedor. Si no se consideran las variaciones geométricas y que el número de Froude está relacionado con el nivel turbulento del flujo, la ecuación (6) se simplifica a [Chanson, 1989]:

$$\beta = f(Fr, Pn) \tag{7}$$

A partir de estas consideraciones surgen una serie de ecuaciones para β :

Pinto (Rutschmann, 1990) $\beta = k_1 L$ (8)

Falvey (Bruschin, 1987) $\beta = k_1 Fr^2$ (9)

Bruschin & Pan (Bruschin, 1987) $\beta = k_1 Fr (ts/h)^{1/2}$ (10)

Rutschmann & Volkart (Rutschmann, 1988) $\beta = k_1 (k_2 - Fr) - k_3 Pn$ (11)

donde k_1 , k_2 y k_3 son constantes empíricas, L es el largo del chorro de agua sobre el aireador, ts es la

altura del escalón y h el tirante de agua.

En un trabajo previo (Salinas, 1994a), se realizó un estudio numérico de los aireadores, donde se utilizaron algunas de las ecuaciones mencionadas anteriormente. A partir de estudios numéricos del P.H. Luis Donald Colosio (Huites) en el estado de Sinaloa y de los aireadores de la presa brasileña de los Foz do Areira, se observó que la ecuación de Rutschmann & Volkart, ecuación (11), es la que mejor predecía el fenómeno. Los resultados obtenidos con dicho modelo se muestran más adelante.

Modelo numérico basado en la ecuación empírica de Rutschmann & Volkart

Uno de los modelos numéricos usados en este trabajo, se basa en la ecuación de Rutschmann & Volkart, antes descrita. Esta ecuación es función del número de Froude y de la subpresión P_n :

$$Fr = v / (gh)^{1/2} \tag{12}$$

$$P_n = (P_{atm} - P_{aireador}) / (\rho_w gh) \tag{13}$$

donde g es la aceleración de la gravedad, ρ_w es la densidad del agua, v la velocidad media del chorro de agua, P_{atm} presión atmosférica, $P_{aireador}$ presión media en el aireador, y h tirante del chorro de agua. Esta ecuación considera que la entrada de aire al flujo de agua en el aireador, se da por (Rutschmann, 1990):

$$\beta = k_1 (k_2 - Fr) - k_3 Pn \tag{14}$$

La ecuación (14) es función de valores globales del chorro de agua, que se consideran constantes a lo largo del aireador, por lo tanto en este primer modelo, no es necesario resolver numéricamente el movimiento del agua sobre el aireador. Esta zona, por donde el agua salta sobre el aireador, se considera como un cuerpo sólido con una cierta velocidad, que influirá en el movimiento del aire dentro del aireador. Por este motivo, la simulación numérica sólo se concentra en el estudio del aire, que viaja desde el medio ambiente hacia el aireador y de ahí a su incorporación al agua, ver figura 4. Para considerar esta incorporación al agua, en las ecua-

ciones de transporte se agrega un nuevo término, *sumidero de masa*. Este término hace que el aire desaparezca del dominio de cálculo en función del comportamiento establecido por la ecuación (14), similarmente como lo haría físicamente el aire al ingresar al agua. El sumidero se considera como:

$$S = -\rho_{\text{aire}} V_w \beta \quad (15)$$

donde, V_w es el gasto volumétrico de agua (m^3/s), ρ_{aire} es la densidad del aire, y el signo negativo nos indica una sustracción sobre el dominio. Dado que la presión dentro del aireador, no es homogénea, habrá zonas con mayor o menor gasto de aire que ingrese al chorro de agua.

El problema del presente modelo radica en la obtención de las tres constantes, pues implícitamente en ellas están considerados todos los parámetros que se despreciaron anteriormente.

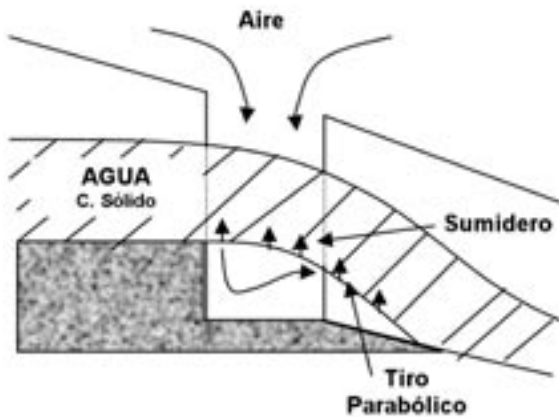


Fig. 4. Configuración del modelo de Rutschmann & Volkart.

Modelo cuasi-bifásico de la entrada de aire en el flujo de agua

Este modelo de entrada de aire en el flujo de agua se basa en la suposición de que la turbulencia crea oscilaciones en la superficie libre del líquido. Si estas porciones de líquido, que tratan de separarse de la superficie son lo suficientemente grandes, atraparán aire y lo introducirán al interior del agua, ver figura 5. A partir de esta consideración la cantidad de aire que entra al líquido dependerá de la capacidad de la turbulencia de vencer las fuerzas que estabilizan la superficie libre, como la tensión superficial y la gravedad (Hirt, 2003).

Como se presentó anteriormente, cuando se utilizan las ecuaciones de transporte basadas en un promediado de Reynolds (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations, RANS), el sistema se cierra, comúnmente a partir de modelos de turbulencia de dos ecuaciones. En el caso preciso de la familia de los modelos $k-\epsilon$, el tamaño característico de las perturbaciones turbulentas está dado por:

$$L_v = 3/2 c_\mu k^{3/2} / \epsilon \quad (16)$$

El valor medio de las perturbaciones de la superficie libre estará dado por este valor L_v . La energía cinética de la perturbación por unidad de volumen (presión) asociado con una porción de líquido que sale de la superficie libre con una altura L_v y con una tensión superficial asociada a la curvatura L_v está dada por (Hirt, 2003):

$$P_d = \rho g L_v + \sigma / L_v \quad (17)$$

donde ρ es la densidad del agua, g la componente normal a la superficie de la aceleración de la gravedad y σ la tensión superficial agua/aire. Para que la entrada de aire ocurra se debe satisfacer la condición:

$$\rho k > \rho g L_v + \sigma / L_v \quad (18)$$

El gasto volumétrico de aire que absorbe el agua estará dado por:

$$V_{\text{aire}} = C_{\text{aire}} A_s (2(P_t - P_d) / \rho)^{1/2} \quad (19)$$

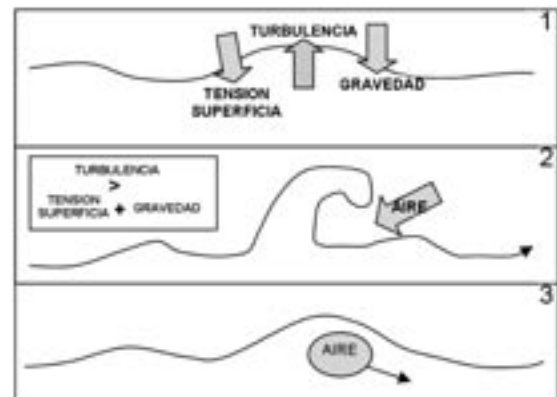


Fig. 5. Modelo cuasi-bifásico.

- 1) Balance de fuerzas en la superficie libre (s.l.)
- 2) Predominancia de la turbulencia, creación de inestabilidades en la superficie libre
- 3) Incorporación de aire al flujo de agua

donde A_s es el área de la superficie libre, $P_i = \rho k$ y C_{aire} es una constante de proporcionalidad. Si $V_{aire} \leq 0$, la entrada de aire no ocurre. C_{aire} representa el volumen de la perturbación que será ocupado de aire, su valor es $0 < C_{aire} < 1$. Diferentes autores recomiendan un valor de 0.5 (Hirt, 2003). Sin embargo, esta constante puede ser utilizada como parámetro de calibración.

En el caso específico, donde el aire entra por debajo de la capa de agua, la gravedad tiene un papel de desestabilizador de la superficie libre y tendrá un signo negativo en la ecuación (18). Otras fuerzas, pueden influir en la estabilidad/desestabilidad de la superficie libre como la fuerza centrípeta, si existe un radio de curvatura en el vertedor.

Configuración del flujo y detalles numéricos

El dominio de cálculo para los dos modelos consiste en una representación tridimensional de la zona próxima al aireador. Para describir la trayectoria del chorro de agua sobre el aireador, se utiliza la ecuación propuesta por Schwartz & Nutt de tiro parabólico (Rutschmann, 1990).

El dominio computacional del aireador consiste en una malla BFC (*Body Fitted Coordinates*) tridimensional de la zona del aireador, con un número de celdas de 26 X 22 X 20, en las direcciones x , y y z , respectivamente. Un ejemplo de la malla utilizada se presenta en la figura 6.

La forma del ducto se aproxima por medio del bloqueo de celdas. En la figura 6 se muestran las zonas bloqueadas, donde las celdas en estas zonas se consideran como sólidos. Para el primer modelo, ecuación (14), la zona del agua, igualmente se bloquea, considerándola como un sólido. En las fronteras, figura 7, que se encuentran sobre el chorro de agua, (fronteras A, B, C, D y E), se fija una presión de referencia, P_{atm} , para que el aire pueda entrar y/o salir libremente. En ambos cálculos, se simula una mitad del vertedor, considerando la frontera F como eje de simetría. Dentro del aireador y el ducto, las paredes se consideran como paredes sin deslizamiento, es decir, con velocidad nula. Para el primer modelo, las

paredes del cuerpo sólido que representan el agua, son paredes con fricción y con una velocidad igual al valor promedio del chorro de agua.

En el caso del modelo cuasi-bifásico, existieron algunos problemas de convergencia por lo que se simplificó al máximo la interacción aire/agua. Este modelo no considera la tensión superficial entre el gas y el líquido, por lo que este efecto se debe de realizar artificialmente. Esto se hace añadiendo una pared sin fricción, cuyos valores de velocidad, k y μ , son un promedio de lo que sucede en lado del agua y en el lado de aire. Con esto se evita que el escalon, C , se transporte sin ninguna restricción. Para este mismo modelo, la condición de frontera de entrada del chorro de agua (condición G), se realiza de dos formas diferentes. La primera consiste en imponer valores promedio de velocidad, tirante, k y μ . En la

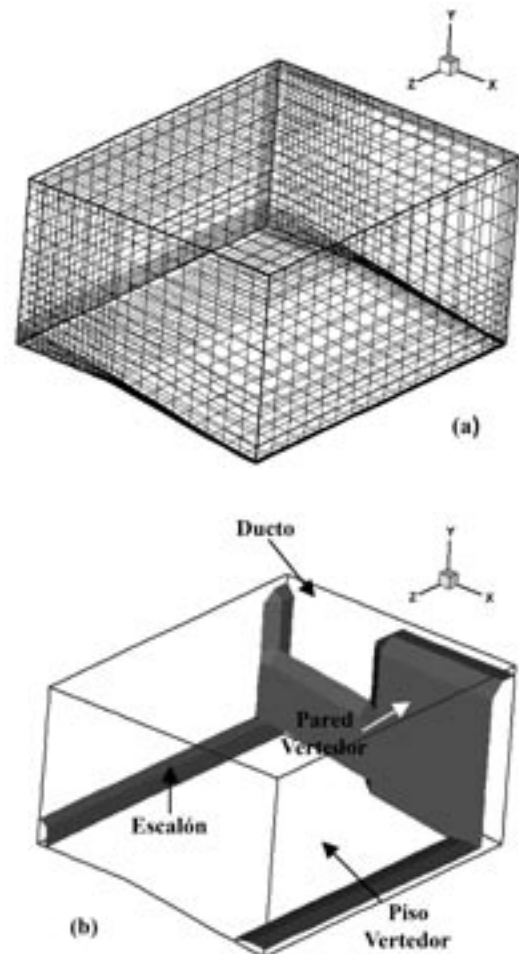


Fig. 6. Dominio de cálculo

a) Malla computacional.

b) Geometría del aireador. Las zonas sólidas, muestran los muros

segunda manera, se simula con el mismo método quasi-bifásico; el flujo bidimensional de aire y agua en el vertedor entero, considerando que en el cimacio del mismo se haya un flujo crítico y laminar $k=0$ (Salinas, 2004). A partir de esto se obtienen los perfiles de las variables en el lugar donde se encuentra el aireador.

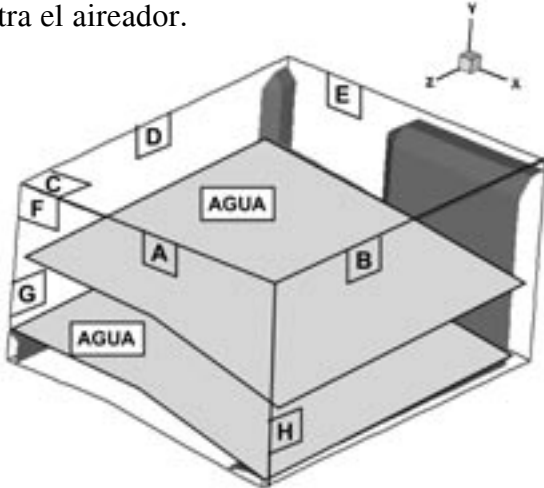


Fig. 7. Condiciones de frontera en la simulación numérica

Resultados

Modelo Rutschmann & Volkart

Los primeros resultados se obtienen con la ecuación de Rutschmann & Volkart, principalmente para el modelo 1:21 del P.H. Luis Donaldo Colosio. A partir de la calibración de las tres constantes de la ecuación, con respecto a los datos experimentales, se llegó a la ecuación para el segundo aireador aguas abajo del vertedor, sección 5. Esta ecuación está dada por:

$$\beta = 0.068(Fr - 5.5) - 1.8Pn \quad (20)$$

La ecuación 20, presenta el comportamiento mostrado en la figura 8, que compara a predicciones con los datos experimentales. En la mayoría de los casos, las diferencias en la relación $\beta-Fr$, son del 10%. En la tabla 1, se muestran los valores promedio de

V_w [m³/s]	P1 [Pa]	P2 [Pa]	P3 [Pa]	P4 [Pa]	v_{ducto} [m/s]
0.625	15.7	11.8	16.7	11.8	7.31
1.2	13.7	10.3	13.7	8.3	4.83
1.6	11.8	8.8	11.8	4.9	4.82
1.866	4.9	0.0	2.5	1.96	5.56

Tabla1. Valores experimentales de presión en el aireador y velocidad máxima en el ducto

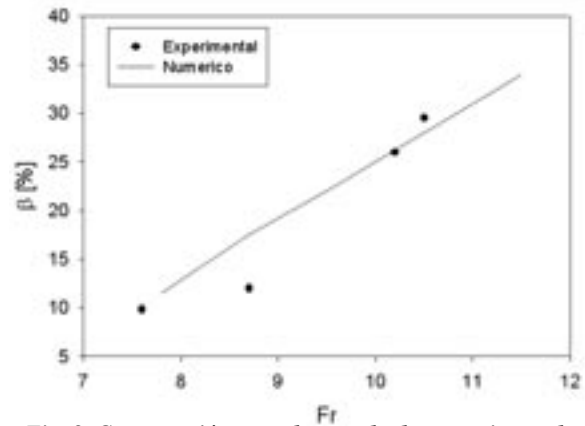


Fig. 8. Comparación entre los resultados experimentales y la ecuación 20

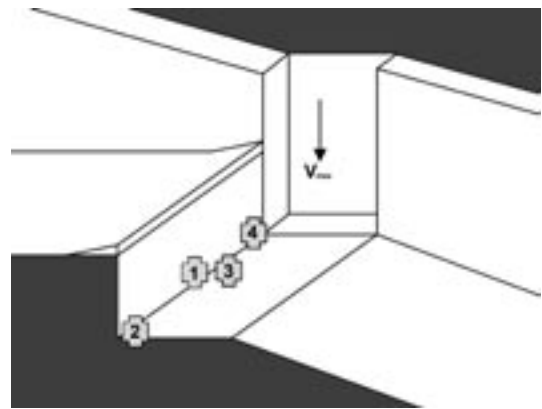


Fig. 9. Puntos de medición experimental de presión y velocidad

los datos experimentales de presión vacuométrica y de velocidad del aire en los puntos especificados en la figura 9.

Numéricamente, los valores máximos de presión vacuométrica obtenidos dentro del aireador, varían entre $P_{max} \approx 2$ a 50 [Pa], dependiendo del gasto y de las velocidades máximas en el ducto que van de $v_{ducto} = 7.0$ a 8.0 [m/s]. En la tabla 2 se proporcionan los datos de las presiones en el aireador y velocidades en el ducto para el gasto menor $V_w = 0.5$ [m³/s] y el gasto mayor $V_w = 2.0$ [m³/s].

Las predicciones numéricas resultaron ser muy similares a las medidas experimentales. Además, se ob-

V_w [m³/s]	P1 [Pa]	P2 [Pa]	P3 [Pa]	P4 [Pa]	V_{ducto} [m/s]
0.5	12	5	12	28	7.2
2.0	15	7	15	37	8.0

Tabla 2. Valores de los resultados numéricos de presión vacuométrica en el aireador y velocidad máxima en el ducto. Modelo, ecuación empírica de Rutschmann y Volkart

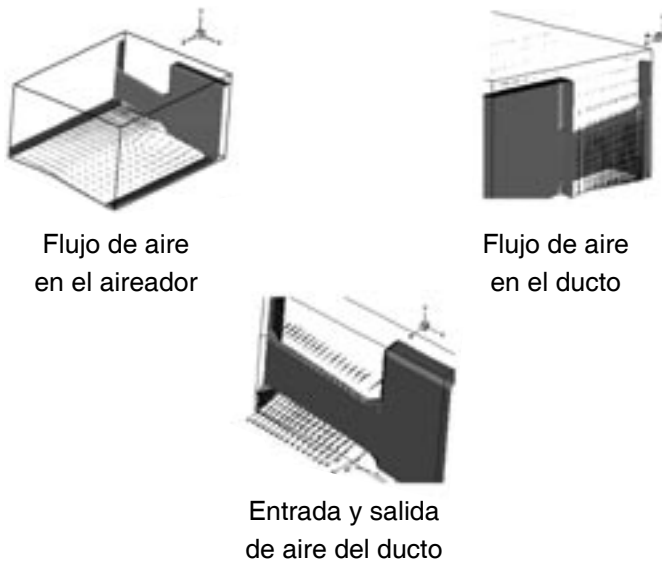


Fig. 10. Patrones de flujo en la simulación numérica del aireador, sección 5, P.H. Luis Donald Colosio.

servaron patrones de flujo igualmente similares. Cualitativamente se pudo observar, experimentalmente, la formación de un gran vórtice en el aireador, debido a que no todo el aire que es succionado por el aireador logra introducirse en el agua. Este exceso de aire se estanca en el aireador y recircula hasta que es absorbido por el agua. En la figura 10, se muestran los patrones de velocidad en el aireador y el ducto. Adicionalmente, estas simulaciones proporcionaron una información completa y detallada, que hubiera sido imposible obtener experimentalmente debido a la geometría compleja del flujo. Este modelo fue utilizado para otros aireadores, como el de Foz do Areira (Rutschmann, 1988). Para uno de los aireadores de esta presa se obtuvo la ecuación siguiente: $\beta=0.1713 (Fr-4.94)-1.0Pn$.

A pesar de las buenas cualidades de este modelo, la calibración de las tres constantes, resulta difícil y sobre todo se requiere de una serie de datos experimentales para su calibración. Igualmente, resulta imposible el escalamiento de la expresión. Esto conduce a que se deban hacer mediciones en el modelo y en el prototipo para obtener una expresión para cada una. Cabe remarcar que el vertedor prototipo fue utilizado (marzo 2005) por primera vez, después de más de 10 años de su construcción.

Modelo cuasi-bifásico

Con el fin de eliminar los obstáculos encontrados con el modelo precedente, se desarrolló un nuevo modelo,

basado en un balance de fuerzas. Estas fuerzas permiten o restringen la entrada del aire al agua. En esta sección se presentan los resultados obtenidos, para el aireador, sección 5, del modelo 1:21 del P.H. Luis Donald Colosio, del cual se tienen los resultados experimentales mostrados en la sección anterior.

Debido al salto del agua sobre el aireador, se formará una subpresión, que influenciará de dos formas distintas al flujo de aire entrante. Primeramente, esta disminución en la presión, propiciará la succión de aire del medio ambiente hasta el aireador. Parte de este aire se incorporará al chorro de agua y el resto se mantendrá en recirculación dentro del aireador, como se mencionó y se observó previamente. En la figura 11 se muestra la entrada de aire del medio ambiente hacia el aireador. Las líneas continuas muestran la línea de corriente del flujo de aire; los vectores representan la velocidad del aire y la superficie opaca el chorro de agua. Sin embargo, esta presión negativa, que es el motor que produce el funcionamiento del aireador, igualmente tiene un lado perjudicial, pues ella misma obstaculiza su entrada al agua. En el modelo anterior de Rutschmann & Volkart, este factor se toma en cuenta como un término negativo ($-k_3 P_n$).

En la presente simulación, los valores de presión vacuométrica son mostrados en la figura 12, estos valores son más altos que los obtenidos experimentalmente y por el modelo de Rutschmann & Volkart. Los valores de presión para el caso mostrado en la figura ($V_w=2.0 \text{ m}^3/\text{s}$), varían de 35 a 125 Pa de presión vacuométrica, lo que se traduce en metros columna de agua como 0.0035 a 0.012 m. A pesar de que estos valores son mayores que los documentados experimentalmente, dichas presiones están en un rango, donde la precisión de los aparatos puede influir en los resultados. En la tabla 3, se proporcionan las predicciones de presión y velocidades para este modelo, similares a los dados por la tabla 2. En la figura 12a, se observa que en el centro de la recirculación se producen las menores presiones. En teoría, esta zona tiene el mayor efecto adverso con respecto a la entrada de aire en el agua debido a la subpresión.

En términos de la hidrodinámica de los fluidos, se observa que la velocidad máxima en los ductos está en el rango de los resultados experimentales, los cuales no sobrepasaron los 10 m/s. En la figura 13b, se muestra el campo vectorial de la velocidad para el gas-



Con su gente... con su espíritu... CONSTRUYENDO

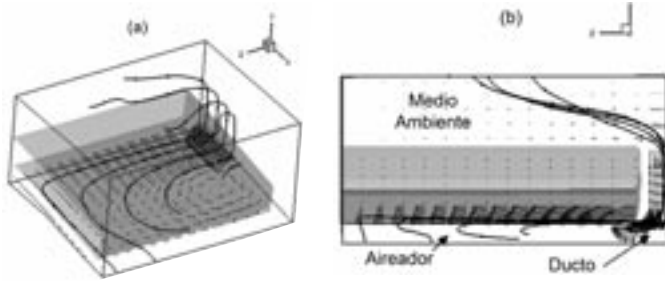


Fig. 11. Entrada de aire del medio ambiente al aireador. Líneas de corriente y campo vectorial de la velocidad

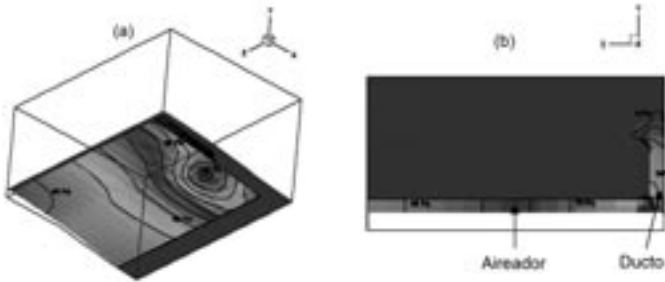


Fig. 12. Contornos de presión vacuométrica en Pascales. a) Plano x-z en la zona del aireador. b) Plano x-y.

to de $V=2.0 \text{ m}^3/\text{s}$. En esta figura se pueden apreciar tres diferentes iso-superficies con valores constantes de velocidad normal iguales a -2.0, -6.0 y -8.0 m/s. Debido a la formación del vórtice en la zona del aireador, figura 13a, la entrada de aire en el ducto no es homogénea en todo su ancho, incrementándose la velocidad en la parte cercana al escalón, zona A en figura 13b. La diferencia entre las velocidades de ambos lados del ducto, zonas A y B, figura 13b, llega a ser de hasta 20%. Algunas modificaciones en el aireador se pudieron ensayado, como pequeñas paredes, para homogeneizar el flujo en el ducto pero con resultados aparentemente fortuitos.

En la tabla 3 se resumen los resultados para el aireador sección 5 del modelo 1:21 del P.H. Luis Donaldo Colosio. Se observa que tanto el valor de la velocidad media máxima en el ducto, como el de las presiones en el aireador, son del mismo orden que las obtenidas experimentalmente y con el modelo de Rutschmann & Volkart. Igualmente se observa un comportamiento similar en la distribución de las presiones, esto es, una mayor presión vacuométrica en la base del ducto, que disminuye hacia el centro del vertedor. Esto puede verificar la observación tanto experimental como numérica del vórtice de gran tamaño dentro del aireador.

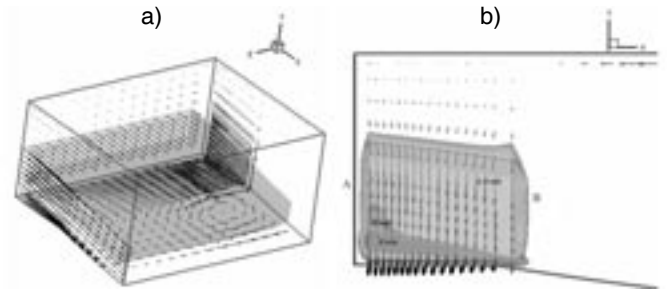


Figura 13. Patrones de velocidad del aire

a) Campo vectorial de la velocidad del aire y agua, la zona opaca esta relacionada con la zona de agua
b) Velocidad en el ducto, las tres iso-superficies, muestran zonas de velocidad constante $V=-2.0, -6.0$ y -8.0 m/s

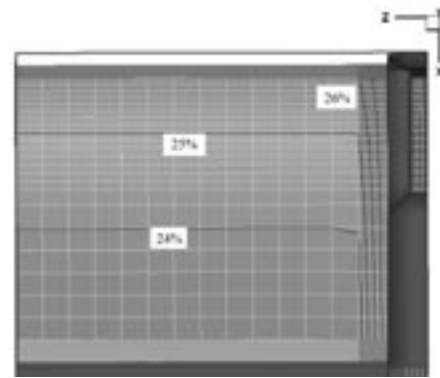


Figura 14. Contornos de η

En lo que respecta al gasto volumétrico de aire que entra al agua en el aireador, los valores están en buena concordancia con los reportados experimentalmente y con los obtenidos con el modelo anterior. Para los casos estudiados en este trabajo, se observó que la entrada de aire depende principalmente del largo del chorro de agua sobre el aireador. Los contornos de η en la figura 14 muestran que la entrada de aire no es homogénea en toda la capa de agua. Los valores mayores se encuentran cerca de la pared del vertedor, esto debido al efecto de pared. Igualmente se observa que cerca del escalón hay una mayor entrada de aire y que disminuye conforme el agua cae hacia el piso del vertedor. Los niveles de turbulencia, k^2 , son proporcionales entre el 6 al 12% de la velocidad media del agua.

$V_w \text{ [m}^3/\text{s]}$	P1 [Pa]	P2 [Pa]	P3 [Pa]	P4 [Pa]	$V_{\text{ducto}} \text{ [m/s]}$	$V_{\text{aire}} \text{ [m}^3/\text{s]}$	$\eta \text{ [%]} \text{ (} V_{\text{aire}}/V_w \text{)}$
0.5	58	33	58	83	8.85	0.341	68.2%
2.0	60	35	60	85	9.1	0.502	25.1%

Tabla3. Valores de los resultados numéricos de presión vacuométrica en el aireador y velocidad máxima en el ducto. Modelo cuasi-bifásico



Conclusiones

En el presente trabajo, se analizan y validan dos diferentes modelos numéricos para el estudio y diseño de aireadores. Un primer modelo se basa en una ecuación empírica, que demostró funcionar adecuadamente para modelar un fenómeno complejo. A partir de la ecuación de Rutschmann & Volkart, se reprodujeron ciertos comportamientos observados experimentalmente y se obtuvieron valores similares a los obtenidos experimentalmente para ciertas variables medias. A partir de este modelo numérico se pudieron estudiar determinadas zonas y variables que serían imposibles de analizar experimentalmente. Lo anterior debido principalmente, a la geometría del aireador. A pesar de que este modelo fue una herramienta complementaria a la medición experimental, las constantes del modelo imponen diferentes problemas. Físicamente, estas variables dependen de diferentes variables del flujo, fluido y geométricas del aireador y vertedor. Por este motivo su obtención, resulta imposible sin datos experimentales previos. Aunado a esto, el escalamiento de dicho modelo, igualmente resulta irrealizable, pues los diferentes fenómenos que interactúan no escalan de la misma forma. Ésto trae como consecuencia la necesidad de mediciones experimentales en el modelo y el prototipo, lo que resultaría en cuantiosos estudios.

Con el fin de tener un mejor control de los diferentes parámetros del problema, se implementó un nuevo modelo. Este modelo usa una aproximación cuasi-bifásica para diferenciar las dos fases que intervienen en el problema aire/agua. Al igual que en el modelo anterior los valores de las variables medidas experimentalmente son del mismo orden que las obtenidas numéricamente. No obstante, ciertas diferencias en las presiones vacuométricas dentro del aireador, están en un rango donde los errores de medición pueden tener una influencia apreciable. La simulación numérica con este modelo cuasi-bifásico requiere más memoria y tiempo de cálculo. Sin embargo, se tiene la ventaja de que los parámetros involucrados pueden ser escalados rápidamente del modelo al prototipo. Adicionalmente, con este modelo es posible incorporar diferentes parámetros a los mencionados, como fuerza centrípeta, fuerza debida a las subpresiones en el aireador.

La generación de un número mayor de información experimental es necesaria para terminar de validar el modelo cuasi-bifásico y su posible utilización en otras geometrías. Sin embargo, este primer estudio ha demostrado una gran calidad en sus resultados.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la DGAPA-UNAM, proyecto PAPIIT IN106902

Bibliografía

- BRUSCHIN, J., *Forced aeration of high velocity flows*, 1987, Journal of Hydraulic Research, 25 (1), pp. 5-14.
- CHAM, *PHOENICS encyclopaedia on line*, 2005, disponible en World Wide Web: http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_enc/encindex.htm
- CHANSON H., *Study of air demand on spillway aerator*, 1990, ASME, Journal of Fluids Engineering, Sept., 112 (3), pp 343-350.
- HERNÁNDEZ G., *Análisis numérico del flujo en vertedores de excedencia provistos de codo vertical*, 1996, Tesis licenciatura, Fac. Ingeniería, UNAM.
- RUTSCHMANN P & HAGER W., *Air entrainment by spillway aerators.*, 1990, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering. 116(6) pp766-782.
- RUTSCHMANN P. & VOLKART P., *Spillway chute aeration*, 1988, Water Power & Dam Construction, Jan, pp. 10-15.
- HIRT C., *Modeling turbulent entrainment of air at a free surface*, 2003, Flow science Inc report, FSI-03-JNGI.
- KNAPP R. & DAYLY J., *Cavitation*, 1970, McGraw Hill-Book, N.Y.
- LAUNDER B.E. & SPALDING D.B., *The Numerical Computation of Turbulent Flows*. 1974, Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., 3:269:289.
- NEZU Y. & NAKAWAGA H., *Turbulence in open-channels flows*, 1993, IAHR Monograph series, A.A. Balkema, Netherlands.
- PATANKAR S. *Numerical heat transfer and fluid flow*, 1980, McGraw-Hill, NY.
- SALINAS M., RODRÍGUEZ A. & PALACIO A., *Simulación numérica del comportamiento de aireadores en vertedores.*, 1994a, XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago, Chile.
- SALINAS M., *Estudio de los aireadores de la obra de excedencia del proyecto hidráulico Huites*, 1994b, Tesis licenciatura, Fac. Ingeniería, UNAM.
- SALINAS M., VICENTE W., VAL R., CARRIZOSA E., RODRÍGUEZ, A. & PALACIO, A. *Simulación numérica de la entrada de aire en vertedores de grandes presas.*, 2004, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, Brasil.
- SANCHEZ B., J.L., PALACIO, A., RODRÍGUEZ, A., CARMONA, R., SALINAS, M., FRANCO, V., RODAL, E., ESPINO, C., *Modelo de los aireadores de la presa Huites*, 1994, Informe Final, II-UNAM, Elaborado para CNA.

Simposio sobre Riesgos Hidrometeorológicos en Zonas Urbanas

- La CNA y la AMH acuerdan sumar esfuerzos para ampliar y difundir experiencias que contribuyan al diseño y promoción de mecanismos que permitan atender esta problemática
- El evento reúne a importantes especialistas de los sectores público, privado y académico de nuestro país.

Bajo la premisa de aportar todo el conocimiento y la experiencia que tiene a su alcance para la solución de problemas que afectan nuestra sociedad, la Asociación Mexicana de Hidráulica, con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua, llevó a cabo el Simposio sobre Riesgos Hidrometeorológicos en Zonas Urbanas.

En el encuentro, celebrado el pasado ocho de diciembre en el Colegio de Ingenieros Civiles de la Ciudad de México, se presentaron dos ponencias magistrales y 15 de otro igual número de especialistas, en las que se analizó la problemática que se vive en diferentes regiones de nuestro país ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos y se formularon propuestas dirigidas a mejorar la planeación y ejecución de acciones y obras de prevención, protección y mitigación de riesgos.

En lo general, se resaltó el desordenado y acelerado crecimiento en las zonas urbanas como el factor de vulnerabilidad más importante, pues propicia el desarrollo de grandes asentamientos humanos, generalmente de bajos recursos económicos, sobre cauces de arroyos y ríos, así como en zonas de regulación y favorece la deforestación y cambio en el uso del suelo, que provoca avenidas más intensas en cantidad y velocidad de escurrimiento.

Quedó claro que la ubicación de zonas urbanas y la evaluación de daños a sus bienes y actividades económicas, susceptibles de alguna afectación por fenómenos meteorológicos, pueden estimarse con mayor precisión que la magnitud y la frecuencia de los eventos que causan los desastres, por lo que se destacó la necesidad de propiciar un mejor ordenamiento urbano, mediante la observación de las restricciones en el uso del suelo, tanto por parte de autoridades, como de usuarios.

Asimismo, se resaltó la importancia de incrementar el número y confiabilidad de estaciones climatológicas, pluviométricas e hidrométricas para ampliar la cobertura geográfica de las mediciones y disponer de más datos para un mejor dimensionamiento de las



estructuras hidráulicas, pues el registro de observaciones confiables es aún muy corto para caracterizar adecuadamente fenómenos extremos de muy alta variabilidad, como la alternancia de períodos fríos y calientes, húmedos y secos, y la ocurrencia de otros como El Niño y La Niña.

En este sentido, durante la inauguración del evento, el Director General de la CNA, Cristóbal Jaime Jáquez, resaltó que ninguna nación se encuentra a salvo de sufrir los embates de algún fenómeno hidrometeorológico extremo, los cuales afectan en gran medida el patrimonio de la población y en muchos casos ocasionan la pérdida de vidas humanas.

Recordó que en los últimos tres meses hemos sido testigos de los cuantiosos daños que los huracanes generados en el Atlántico y el Caribe, como fueron los casos de Katrina, Rita, Stan y Wilma, ocasionaron en importantes centros urbanos de nuestro país, así como de Estados Unidos y el Caribe.

Estimó que en promedio cuesta del orden de los cuatro mil 500 millones de pesos por año restablecer las condiciones una vez que ocurre uno de éstos fenómenos en el país, por lo que esta institución propuso al Presidente de la República, Vicente Fox Quesada, dividir los recursos para utilizarlos de manera preventiva y no correctiva.

Al respecto, recordó que desde el inicio de esta administración federal, la protección de centros ur-

banos ha sido considerada como una acción estratégica, de ahí que en el estado de Chiapas se realizará un replanteamiento de las obras que se requieren para prevenir el desbordamiento de ríos y se buscará sumar esfuerzos con las autoridades estatales y municipales a fin de evitar la construcción de viviendas en zonas inundables.

Asimismo, invitó a los integrantes de la Asociación Mexicana de Hidráulica a sumarse a los esfuerzos que realiza la CNA, con la finalidad de actualizar y detallar el Mapa de Riesgos del país ante estos fenómenos naturales, así como para proponer y delinear acciones en los casos donde la atención por parte de las autoridades sea más prioritaria.

En su oportunidad, el Subdirector General de Infraestructura Hidráulica Urbana de la CNA, Jesús Campos López, comentó que los daños asociados a los fenómenos hidrometeorológicos se han incrementado debido, principalmente, al desarrollo de asentamientos irregulares en cauces y planicies susceptibles de inundación, lo cual provoca la obstrucción del drenaje natural de las cuencas, así como problemas de basura y azolvamiento en los cauces, reduciendo su capacidad hidráulica.

Precisó que como parte de las medidas preventivas y de control en materia de infraestructura, la Federación, en coordinación con autoridades estatales y municipales, realizan las acciones necesarias para evitar la instalación de asentamientos humanos



en zonas inundables así como la construcción de estructuras diversas, obras complementarias de control y regulación de caudales, como presas de gaviones, cauces piloto o cortinas rompecicos.

Reveló que a nivel nacional se tienen identificadas inversiones necesarias del orden de 29 mil millones de pesos para desarrollar infraestructura de protección y prevenir inundaciones. En este contexto, con el Programa de Protección a Centros de Población se han logrado disminuir las inundaciones en los estados de Hidalgo, México, Nuevo León, Querétaro y Tabasco y en el Distrito Federal.

En la actual Administración se han invertido 1,670 millones de pesos, en beneficio de 3.3 millones de habitantes y se continúan invirtiendo más de 1,100 millones este año, para rebasar con ello los cuatro millones de habitantes beneficiados. Además, existe una previsión de recursos para 2006, por el orden de los 150 millones de pesos.

Señaló que con el fin de disminuir los daños asociados a este tipo de eventos, la CNA está implantando un sistema de protección integral que ha iniciado en el estado de Chiapas, el cual comprende acciones de levantamientos aéreos y procesamiento de imágenes de satélite para delimitar áreas inundables. De manera paralela, se realizan trabajo de reforzamiento de bordos de protección en cauces y construcción de bordos.

Por su parte, el Presidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica, Polioptro Martínez Austria, resaltó la importancia de este encuentro si se toma en cuenta que la reciente temporada de huracanes ha sido la más intensa de que se tenga noticia en los últimos 110 años de registro y los daños ocasionados ascendieron a los 200 mil millones de dólares a nivel mundial.

En su ponencia, indicó que muchos de los efectos recientes son resultados del cambio climático, cuyas evidencias se pueden observar en la disminución de los glaciares que son especialmente sensibles al calentamiento global.

Sobre este particular, detalló que la mayoría de los glaciares están disminuyendo de tamaño y hay registros que muestran como en los Alpes han desaparecido glaciares en apenas 40 años, lo que sólo es explicable por el calentamiento global.

Añadió que los efectos previstos del cambio climático en los recursos hídricos se ve reflejado en la intensificación del ciclo hidrológico, esto es: se registra mayor frecuencia de sequías en zonas áridas y semiáridas; mayor vulnerabilidad en zonas que ya hoy padecen de escasez; mayor frecuencia de inundaciones en zonas húmedas y templadas, por lo que es necesario que deban revisarse diseños de obras hidráulicas.

Finalmente, agradeció el apoyo de la Comisión Nacional del Agua para la realización de este evento, cuyas memorias serán editadas y distribuidas a nivel nacional, con la finalidad de difundir las experiencias y conocimientos de este evento entre las distintas instancias vinculadas con la atención de esta problemática.

GRUPO PROAQUA
Una empresa de **Grupo Marinos**
A FUERZA DE CONSTRUIR, NOS HEMOS CONSTRUIDO A NOSOTROS MISMOS

ESPECIALISTAS EN:
Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento de aguas residuales, industriales y municipales

info@grupoproaqua.com.mx www.grupoproaqua.com.mx

Av. Himno Nacional 1911
4º piso, Fracc. Tangamanga,
San Luis Potosí, S.L.P.
C.P. 78269, México

Teléfonos 01 (444)
833-1865, 833-1866
817-4381, 817-4389
817-4411

MARINOS
GRUPO PROAQUA

Velitchko Tzatchkov, Felipe Arreguín Víctor Alcocer, reciben premio “Miguel A. Urquijo 2004-2005”

Premio que otorga el CICM al mejor artículo técnico



El pasado 16 de noviembre los Doctores Tzatchkov y Arreguín, así como el Maestro Alcocer, recibieron este importante premio por su trabajo: “Modelo de calidad del agua en redes de distribución”, publicado en la revista Ingeniería Hidráulica en México.

Este trabajo permite conocer el comportamiento de la calidad del agua dentro de un sistema de distribución de agua potable. Es sabido que el cloro utilizado como desinfectante en las redes de distribución, decae una vez introducido en la red y existe el peligro de que ciertas partes de ella queden desprotegidas, con el correspondiente riesgo para la salud de la población.

Actualmente la mayoría de los organismos operadores de agua potable en México, determinan la dosis del desinfectante en las conexiones de la red con las fuentes, en las estaciones de re-inyección y en algunos otros puntos a través de monitoreos. Sin embargo resulta imposible realizar muestreos en toda la

red, generando incertidumbre sobre la concentración del desinfectante en muchos tramos del sistema. Para garantizar la calidad del agua en las redes de distribución de agua potable, es necesario tener concentraciones específicas de los parámetros establecidos por de la NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites máximos permisibles del agua para consumo humano. Vale la pena mencionar que no siempre la menor concentración se presenta en las zonas más alejadas a las fuentes de abastecimiento, pues el decaimiento es proporcional al tiempo de residencia del agua dentro de la red, esto es, pueden presentarse concentraciones reducidas de cloro en zonas con velocidad baja, o bien, en tanques de almacenamiento. Por otro lado, el control de la concentración del desinfectante puede ser complicado cuando la red es abastecida por varias fuentes a la vez.

Existen modelos matemáticos que simulan el comportamiento de la calidad del agua en las re-

des de distribución, que implementados en computadoras hacen posible predecir la concentración del cloro (u otro parámetro físicoquímico del agua) bajo diferentes escenarios de operación en todos los puntos de la red, y con esto garantizar una adecuada calidad del agua en todo el sistema. Varios modelos de este tipo han sido propuestos, pero la mayoría de ellos se han probado en redes pequeñas, o en sistemas grandes muy simplificados, esto es, considerando solamente las tuberías principales. Cabe señalar que un modelo de calidad del agua es útil precisamente en redes grandes y considerando todas las tuberías.

En redes pequeñas los tiempos de residencia hidráulica son cortos, y no se produce un decaimiento apreciable del desinfectante. Una situación similar se presenta en modelos de redes grandes, cuando se incluyen solamente las líneas principales donde las velocidades del flujo son altas y por lo tanto el tiempo de residencia es corto. También es común la existencia de redes donde la velocidad del flujo es baja, y los recorridos del agua son largos en las tuberías de diámetro pequeño (llamadas *tuberías secundarias* o *tuberías de distribución*), que es donde se conectan los usuarios y es ahí donde importa saber si la concentración del desinfectante es suficiente.

El trabajo presenta algunos resultados de un estudio patrocinado por la Comisión Nacional del Agua, enfocado a la implementación y calibración de un modelo de calidad del agua en la zona Norte de Culiacán, Sin., que cuenta con una población de 61,500 habitantes. Se determinó la constante de primer orden de reacción del cloro con el agua, $k_a = 0.0988$ horas⁻¹, y la de reacción con la pared del tubo $k_p = 0.4140$ m/día para un diámetro de 16 pulgadas, y $k_p = 0.1509$ m/día para 10 pulgadas. Con lo anterior para el caso de la ciudad de Culiacán, los valores del coeficiente total de decaimiento k son de 0.273 a 0.189 horas⁻¹. La comparación de resultados entre medición y modelo muestra que en 70.83% del total de los puntos se tienen diferencias menores al 25%. En la región dos del sitio de aplicación, los resultados presentan diferencias menores al 20% en el 90% de los nodos.

Algunos beneficios del modelo son:

- Permite analizar el comportamiento del desinfectante en la red
- Hace posible definir diferentes estrategias para garantizar la calidad del agua en la red
- Provee las herramientas para determinar la dosificación óptima de cloro en las fuentes y plantas de tratamiento, y en su caso la necesidad de unidades auxiliares de inyección secundaria
- Identifica las partes potencialmente problemáticas de la red y las medidas a tomar para solucionar el problema
- Permite conocer la calidad del agua resultante de la mezcla de aguas de diversas fuentes de abastecimiento dentro de la red
- Puede usarse para investigar las causas en una baja de calidad del agua
- Analiza el comportamiento de sustancias químicas en la red, y en caso de un posible accidente de contaminación, permite determinar quienes serían los usuarios afectados y el tiempo de transporte del contaminante. Lo anterior ayudaría a los operadores a conocer el tiempo disponible para reaccionar e iniciar acciones correctivas.
- Optimiza la ubicación de los puntos de muestreo de la calidad del agua en la red
- El modelo hidráulico que se implementa como parte del modelo de calidad del agua, puede ser usado en otros proyectos como sectorización de la red, establecimiento de distritos hidrométricos para control de pérdidas de agua potable, mejoras en la distribución, y otros
- En general, proporciona un conocimiento detallado del funcionamiento hidráulico y de la calidad del agua en la red de distribución, que a su vez repercute en otros beneficios provenientes de un mejor control y una operación más consciente.

América Latina y el Caribe enfrentan problemas comunes en materia de agua y asentamientos humanos



- Requiere su problemática hidráulica una mayor participación conjunta de autoridades y sociedad
- Presentan los asistentes al Foro Latinoamericano y del Caribe sobre Agua y Asentamientos Humanos recomendaciones que serán expuestas en el IV Foro Mundial del Agua

Las principales ciudades y áreas rurales de América Latina y del Caribe enfrentan problemas comunes en materia de agua y asentamientos humanos que requieren la participación conjunta de las autoridades y la sociedad civil, a fin de identificar las alternativas más viables de solución en lo técnico y lo financiero.

Así se estableció durante la clausura de los trabajos del Foro Latinoamericano y del Caribe sobre Agua y Asentamientos Humanos, celebrado en el Colegio de Ingenieros Civiles de México, que durante los días 8, 9 y 10 de noviembre pasados reunió a más de 200 especialistas y actores principales en esta materia.

Durante los trabajos, cuyas conclusiones se presentarán en el IV Foro Mundial del Agua que se llevará a cabo en marzo del 2006 en la ciudad de México, se determinó, entre otras cosas, que las ciudades y zonas metropolitanas de la región, enfrentan la necesidad de establecer programas de reuso del agua y redoblar los esfuerzos para abatir las pérdidas de este vital líquido en las redes de abastecimiento.

Bajo la coordinación y participación de la Secretaría de Desarrollo Social, la Comisión Nacional del Agua, la Organización de las Naciones Unidas, a través del Programa Hábitat y del Programa para el Medio Ambiente, así como de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento, el Colegio de Ingenieros Civiles de México y la Asociación Mexicana de Hidráulica, se concluyó que en las grandes urbes se carece de una cultura de conservación del agua, y hay una difícil participación de los distintos actores jurisdiccionales en la planeación, construcción y operación de sistemas metropolitanos.

En cuanto a zonas periurbanas o periféricas se manifestó en el encuentro que aún prevalece la dificultad para incorporar a estas áreas en la planeación del abastecimiento del agua integral, por lo que enfrentan la falta de acceso a los sistemas tradicionales de financiamiento para atender el problema de abasto de agua y de saneamiento, el cual se caracteriza por ser más severo.

De igual forma, las poblaciones asentadas en las regiones suburbanas no disponen, en lo general, de una capacidad de gestión que les permita crear y mantener la infraestructura hidráulica y urbana, derivado en gran medida por los efectos culturales de usos y costumbres urbanas que dificultan las acciones gubernamentales y privadas para la atención de estos servicios.

Por lo que se refiere a las zonas precarias o comunidades rurales existe la importancia de retomar el aspecto de salud pública como un elemento de decisión y de acción para la atención de servicios en estas áreas, el cual se ve agravado por la problemática que se presenta en materia de saneamiento.

Al igual que las zonas periurbanas o suburbanas, las regiones rurales presentan aspectos problemáticos culturales y de usos y costumbres que dificultan las acciones. Sin embargo, el problema de vulnerabilidad en el uso del suelo con relación a la planeación y la provisión de los servicios es mucho más marcado.

Derivado de lo anterior, los asistentes al encuentro acordaron emitir diez recomendaciones que serán presentadas en el IV Foro Mundial del Agua y que establecen, en términos generales, lo siguiente:

- La necesidad de que los gobiernos, en todas sus esferas y niveles, más la sociedad civil organizada y las comunidades, trabajen en conjunto en identificar la problemática, buscar alternativas de solución y estrategias nuevas de implementación, pero sobre todo mecanismos innovadores de financiamiento.
- Acordar incentivos que ayuden a modificar las percepciones, las actitudes y los patrones de comportamiento de las instituciones y las personas, en relación con el uso del agua.
- Diseñar e instrumentar campañas de concientización ciudadana sobre el uso eficiente y el valor del agua con los principales actores en comunicación social.
- Buscar mecanismos eficientes de regulación para manejar la eficiencia de los organismos operadores, incluyendo a los gobiernos municipales, empresas privadas, así como a los concesionarios.
- Profundizar en el tema de los consejos y comités de cuenca para mejorar su eficiencia y consolidarlos hacia la mejora de la gobernabilidad, los cuales deben ser una plataforma para empezar a formar una conversación más amplia sobre la administración, uso y operación del agua.
- Valorar a los organismos no gubernamentales y otros actores de la sociedad civil como los cata-

lizadores de la generación de un nuevo diálogo que abra la participación de la sociedad en la toma de decisiones de la administración, operación y gestión integral del agua.

- Buscar nuevos modelos de planeación a largo plazo con estrategias ecosistémicas de carácter preventivo, conciliando el recurso agua, la población y al ordenamiento territorial de los asentamientos humanos.
- Se define que la diferencia entre el costo y el precio es el subsidio y éste se les da a los usuarios indiscriminadamente. De ahí que este subsidio deba analizarse con mucho cuidado para destinarse exclusivamente a quienes realmente lo requieren, pero que es indispensable que sí se entregue a la población que lo requiere.
- Llevar a cabo la identificación de inversiones actuales y futuras en infraestructura en América Latina y el Caribe como el inicio de una conversación en la creación de un Fondo Financiero Regional para proyectos locales dirigidos a los asentamientos humanos precarios que contribuya a que ciudades y países alcancen los Objetivos y las Metas de Desarrollo del Milenio.
- Por último se recomienda la organización de observatorios que congreguen a la mayoría de los actores institucionales que coinciden en la gestión de un determinado territorio, a fin de armonizar la producción y análisis de informaciones, propiciar la difusión y la articulación entre los procesos y los actores, para contribuir a la formulación de políticas públicas por parte de la instancia gubernamental responsable.

Si bien las conclusiones y recomendaciones del encuentro buscaron resumir la esencia de las múltiples ponencias que en general se presentaron en dicho encuentro, los asistentes al Foro Latinoamericano y del Caribe sobre Agua y Asentamientos Humanos dejaron clara la necesidad de seguir profundizando en cada uno de los temas expuestos si en realidad se quiere llegar a consolidar una verdadera agenda urbana para América Latina que garantice su propia viabilidad y desarrollo.

Ing. Héctor Garduño Velasco



Ing. Héctor Garduño Velasco (al centro) en Washington

En esta sección nos corresponde esbozar algunos detalles de la amplia trayectoria profesional de un profesional a carta cabal, hidráulico de excelencia, el ingeniero Héctor Garduño Velasco.

Nacido en la ciudad de México, D.F., culminó sus estudios profesionales en 1964, graduándose como Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Autónoma de México, estudios que complementó con una maestría en Hidráulica por la UNAM y cursos de hidrología en la Universidad de Illinois, EUA.

Fueron muchos los ámbitos de su desarrollo, siempre ligado a la hidráulica. En la Comisión Federal de Electricidad se desempeñó como Jefe de la Oficina de Hidráulica del Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, como Subdirector Técnico de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Distrito Federal, y, en la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH) como Subdirector y, posteriormente, como Director de la misma en que realizó la transferencia de las actividades de la CPNH a las gerencias centrales y regionales de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y diseñó e implantó 4 programas nacionales: Uso eficiente del agua en las ciudades, Uso pleno de la infraestructura de riego, Reuso de aguas residuales y Capacitación.

En el ámbito privado estableció la firma consultora Proyectos Estudios y Consultoría, S.A., especializada en planeación de recursos hidráulicos, proyectos de abastecimiento de agua potable, desarrollo institucional y edición técnica, firma de la cual es Gerente General y Socio Principal.

Por su gran vocación, se reintegra a la administración pública para participar en la toma de decisiones de trascendencia en materia de agua. Así, en 1986 ocupa la Dirección del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, participando en el diseño y establecimiento del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua como un instituto orientado a la solución de problemas del agua. Su principal reto fue transformar una unidad de planeación de recursos hidráulicos en un instituto encargado de investigación aplicada, transferencia tecnológica y capacitación, en los campos del uso eficiente del agua, control de la contaminación, seguridad de presas, certificación de calidad de equipo y materiales, comunicación y participación pública y capacitación.

A la creación de la Comisión del Agua como una entidad acorde con los nuevos enfoques y el diseño y establecimiento de políticas y procedimientos adecuados, sin descuidar las exigencias de la ope-

ración cotidiana, el Ing. Garduño se integró a dicha entidad gubernamental con el cargo de Subdirector General de Administración del Agua, con el fin de dirigir diferentes actividades en los niveles central, regional y estatal.

Asignaturas destacables atendidas durante su gestión, fueron la modernización del Servicio Meteorológico Nacional, pronóstico del clima, operación de presas durante períodos normales y de emergencias, diseño e implantación del Registro Público de Derechos de Agua, para proporcionar seguridad jurídica a los usuarios y facilitar el mercado regulado de derechos de agua, otorgamiento de concesiones para el uso de aguas nacionales y permisos de descarga de aguas residuales y el Programa de Agua Limpia, que en 4 años de operación contribuyó a reducir en 50% la mortalidad de niños menores de 5 años.

La participación del ingeniero Garduño ha trascendido fronteras ya que gran parte de su labor profesional la ha dedicado a representar a nuestro país en los más importantes foros: como representante de la CNA en las misiones del Banco Mundial a Roma y Ginebra con la FAO y la OMM (Organización Mundial de Meteorología); como Consultor Internacional de la FAO en el diseño e implantación de sistemas de derechos de agua; como experto DANIDA en derechos de agua; como Consultor Internacional del Banco Mundial y, actualmente, como Miembro del Grupo Central, consultor especialista en planeación y aspectos institucionales GW-MATE, grupo de especialistas del Banco Mundial en los aspectos multidisciplinarios de la gestión del agua subterránea y que funciona además como programa asociado de la GWP (Asociación Mundial del Agua).

Profesional completo, ha editado gran número de publicaciones y participado en un sinnúmero de cursos, seminarios y conferencias, a nivel nacional e internacional, logrando siempre gran reconocimiento.

Se integra como miembro de nuestra Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH), del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), de la Asociación Internacional de Derecho de Agua, de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos y de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (AIRH), que le otorgó el reconocimiento Fellow por sus habilidades profesionales excepcionales y por su servicio a la sociedad.

Orgulloso exponente de la Ingeniería Mexicana, este profesional de excepción recibe nuestro sincero respeto y homenaje por su destacada labor en favor de la Hidráulica Mexicana.



Ing. Garduño en su visita a Dharmapuri District, India.



El Ing. Garduño, en Guantao County, China



Agroclimatología cuantitativa de cultivos



Autor: Daniel Francisco Campos Aranda
Editorial Trillas. Julio del 2005. 320 páginas

La utilidad y beneficios de la *agroclimatología* no tienen ningún aspecto cuestionable, ya se trate de la planeación de proyectos agrícolas o de zonas bajo explotación en temporal o con riego. Sin embargo, en el contexto del cambio climático que se está viviendo y que ha llevado a condiciones meteorológicas más extremas, surgen varios cuestionamientos fundamentales para las técnicas y algoritmos agroclimáticos, por ejemplo: ¿son aproximadas las evaluaciones de las evapotranspiraciones potenciales? ¿es confiable la caracterización del temporal? ¿los índices de sequías serán superados en el corto plazo?; y finalmente, ¿las estimaciones relativas a los rendimientos máximos y reales siguen siendo válidas?

El texto está orientado al estudiante de agrometeorología, agroclimatología, climatología agrícola o ecología de cultivos, de las licenciaturas de agronomía y carreras afines, como son las agroindustrias o la extensión agrícola. Por su enfoque cuantitativo, será un gran apoyo al estudiante del posgrado de sistemas de riego, o de otras especialidades que incluyan a la agrometeorología o temas afines como materias optativas. Tal enfoque cuantitativo está respaldado por un total de 53 ejemplos numéricos y 42 problemas propuestos, 36 de ellos incluyen respuestas. Se espera, que los técnicos e investigadores de los diversos campos agrícolas experimentales encuentren en este trabajo procedimientos que les ayuden a caracterizar los climas con los que trabajan y a realizar comparaciones, por ejemplo, a través de los climogramas o de los índices climáticos.

Riesgos Hidrometeorológicos

Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua

Sitio oficial en Internet de CONAGUA de información climatológica de México.

<http://smn2.cna.gob.mx/eSMN/Espaniol/PagsNavegacion/Default.aspx>

Atlas Nacional de Riesgos - Sistema Integral de Información sobre Riesgos de Desastres

El Sistema de Información del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación tiene este sitio con información sobre riesgos de desastres. Además, presenta mapas con información de trayectoria de huracanes, ciclones, precipitaciones, nevadas y heladas.

<http://atl.cenapred.unam.mx/metadataexplorer/index.html>

Centro de Información de Climas Severos

Sitio de Internet con información mundial de ciclones tropicales, fuertes lluvias y nevadas, de la Organización Meteorológica Mundial, de la Organización de las Naciones Unidas.

<http://severe.worldweather.org/>

Centro Nacional de Huracanes

Sitio de Internet con información sobre la predicción de huracanes, de la Zona de Norte y Centroamérica, del Centro Nacional de Huracanes, (NHC, por sus siglas en inglés), del Servicio Climatológico Nacional (NWS, por sus siglas en inglés), adscrita a la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés).

<http://www.nhc.noaa.gov/>

Centro de Huracanes Central Pacífico

Sitio de Internet del Centro de Huracanes Central del Pacífico, también adscrita a la NOAA de los Estados Unidos, presenta información de huracanes de dicha región.

<http://www.prh.noaa.gov/cphc/>

Centro Canadiense de Huracanes (CHC)

Sitio de Internet con información de los pronósticos de huracanes e información relacionada con tormentas de origen tropical que afectan a Canadá. La agencia depende de la agencia de Medio Ambiente de Canadá (EC, por sus siglas en inglés)

http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/index_e.html

Dirección General de Protección Civil y Emergencias, del Ministerio del Interior de España

Sitio de Internet con las Predicciones Meteorológicas de España, organismo que se encarga de la protección física de las personas y de los bienes, en situación de grave riesgo colectivo, calamidad pública o catástrofe extraordinaria.

<http://www.inm.es/web/infinet/predi/mapgen.html>

Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central

Sitio de Internet de la Agencia Internacional creada para promover y coordinar la cooperación internacional en las emergencias, facilitar el intercambio de experiencias entre las instituciones y países del área, así como brindar asesoría técnica y tecnológica.

http://www.cepredeac.org/02_regio/02_index.htm

Oficina Nacional de Emergencia, Ministerio del Interior, Gobierno de Chile

Página oficial de la agencia encargada de la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o humano del Gobierno de Chile

<http://www.onemi.cl/pageview.php?file=riesgos/riesgos.htm>

FEMA, U.S. Department of Homeland Security

Sitio de Internet de la agencia de los Estados Unidos encargada de la preparación y manejo ante inundaciones y otros desastres

<http://www.fema.gov> (sitio principal)

http://www.fema.gov/spanish/hazards/floods/flood_spa.shtm (sitio sobre riesgos de inundaciones)

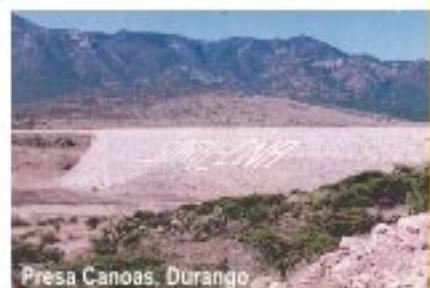
The Weather Channel

Sitio de Internet con información climatológica

<http://espanol.weather.com>

Grupo Universal

50 Años en el Desarrollo Hidráulico de México



OBRAS PRINCIPALES

- 12 presas de almacenamiento y derivación
- 58,000 m de canales de riego
- 15 sistemas de agua potable/drenaje
- 3 plantas potabilizadoras/tratamiento
- 24 acueductos y sistemas de distribución

Además:

- 610 kms. de construcción de caminos y carreteras
- 2 millones de m² en obras de aeropuertos, pistas, rodajes y plataformas
- 120,000 m² de edificaciones urbanas
- 1,410,100 m² de urbanizaciones



EXPERTOS EN:

- Estudios
- Proyectos específicos
- Proyectos ejecutivos integrales
- Consultorías
- Asesoría técnica
- Coordinación y supervisión de proyectos
- Supervisión técnica y administrativa
- Servicio de operación y mantenimiento
- Auditorías técnicas

ÁREAS DE TRABAJO

- Hidráulica
- Hidrología superficial y subterránea
- Hidrometría
- Ingeniería sanitaria y saneamiento
- Topografía
- Control de calidad
- Estudios de factibilidad técnica, económica y financiera
- Sistemas computacionales

Ingeniería y Consultoría Universal, S.A. de C.V.

Torres Adalid 1412-1, México, D.F. C.P. 03020
Tels./Fax 5682 3976, 5687 2711 y 5687 2973
e-mail: ingicusa@prodigy.net.mx

Grupo de Ingeniería Universal, S.A. de C.V.

California 119, México, D.F. C.P. 03100, Tel. 5559 1044
Fax 5575 8335, e-mail: corp@giusa.com

SOMOS LA RESPUESTA EN CONCRETO A SU PROBLEMA DE EROSION



Protección de las bases del cruce aéreo "Barranca" en Cd. Mendoza, Veracruz

Los tapetes flexibles de concreto **SUBMARELHER** son la única respuesta que Usted y su inversión necesitan: **Detienen la erosión**, son de **rápida instalación**, tienen una **vida útil superior a los 20 años** y son **reutilizables**.

Llame. Si hay un problema en sus manos, en las nuestras está la **solución**.

01800-0120277
erosion@grupoelher.com



SUBMARELHER

Control de Erosión - Protección de Ductos
Tapetes flexibles de concreto