

Las Presas y el Hombre

Editores:

G.A. Paz Soldán, H Marengo, F.I. Arreguín



México, D.F., Mayo de 2005

Avances en Hidráulica 12

CONTENIDO

MENSAJE DE BIENVENIDA Dr. Gustavo Paz Soldán C.	3
INAUGURACIÓN Dr. Felipe I. Arreguín C.	5
USOS DE LAS PRESAS <i>LAS PRESAS EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA</i> Ing. José Manuel Fernández Dávila	9
<i>LAS PRESAS PARA RIEGO</i> Ing. César Octavio Ramos Valdés	11
<i>PRESA PARA CAMBIO DE RÉGIMEN ASOCIADA AL PH LA PAROTA</i> Ma. Magdalena Alday Higueldo, José Guadalupe García García	15
RED DE LABORATORIOS DE HIDRÁULICA EN MÉXICO <i>LA MODELACIÓN FÍSICA Y LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL COMO SOPORTE PARA EL DISEÑO, EL FUNCIONAMIENTO Y LA SEGURIDAD DE LAS GRANDES PRESAS EN MÉXICO</i> V. Franco, J. Osnaya Romero, C. Escalante Sandoval, R. Val Segura, M. Montoya Rodríguez, D. L. Ávila Arzani, A. Aguilar Chávez, E. Pedroza González, H. Marengo Mogollón, J. E. Camargo Hernández, J. G. F. Rivera Trejo, P. L. Vega Quijada, G. Soto Cortés, D. Guaycochea Guglieimi, E. Urquiza Marín, J. M. Caballero Ulaje, P. Cristóbal Bernabé, G. López Mendoza, J. Ortiz Medel, F. Ramírez Navarro	27
DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MÉXICO <i>DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MÉXICO</i> Dr. Nahúm Hamed García Villanueva	43
<i>SISTEMAS AUTOMÁTICOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN LAS GRANDES PRESAS DE MÉXICO.</i> Ariosto Aguilar, Cecilia Millán, Víctor Arroyo, Edmundo Pedroza, Serge Tamari, Ricardo Álvarez, Víctor Mejía, Alejandro López, Jorge Antonio Argueta Spínola, Reynaldo Rangel Espinosa	45
<i>LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA GEOTECNIA APLICADOS A PRESAS.</i> Dr. Raúl Flores Berrones, Dr. Miguel P. Romo	57
<i>ASPECTOS DE HIDROLOGÍA DE PRESAS: DISEÑO Y OPERACIÓN.</i> Dr. Álvaro A. Aldama, Dr. Aldo I. Ramírez	65
CONSIDERACIONES SOCIALES <i>CONSIDERACIONES SOCIALES</i> Ing. Jaime Sancho y Cervera	79
<i>CONSIDERACIONES SOCIALES: VISIÓN DEL GOBIERNO ESTATAL</i> Ing. Ernesto Navarro González	81
<i>CONSIDERACIONES SOCIALES: VISIÓN DE LOS MUNICIPIOS</i> Ing. José Refugio Polanco	83
EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO <i>GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. TURBINAS Y PLANTAS GENERADORAS</i> Ing. Manuel Viejo Zubicaray	87
<i>EXPERIENCIAS TÉCNICAS EN EL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO DE LAS GRANDES TURBINAS Y GENERADORES DE DIFERENTES PLANTAS EN MÉXICO</i> Ing. Salvador José del Pozzo Mastachi	93
<i>MODERNIZACIÓN HIDROELÉCTRICA</i> Ing. Federico Mass Colomer	99

TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE PRESAS

TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE PRESAS

Dr. Humberto Marengo Mogollón 109

PRESAS DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO. TENDENCIAS MODERNAS DE DISEÑO.

Dr. Nelson L. de S. Pinto 119

TENDENCIAS CONSTRUCTIVAS RECIENTES

Dr. Bayardo Materón 123

IMPACTOS Y BENEFICIOS AMBIENTALES

PRESAS Y MEDIO AMBIENTE

M. en C. Juan Rafael Elvira Quesada 133

SOCIEDAD Y AMBIENTE EN EL DESARROLLO HIDROELÉCTRICO

M. en C. A. Francisco J. Hernández Álvarez 137

PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Ing. Gabriel Quadri de la Torre 143

CONSTRUCCIÓN DE PRESAS

LA CONSTRUCCIÓN DE HIDROELÉCTRICAS EN CONTRATOS MIXTOS DE OBRA PÚBLICA

FINANCIADA PARA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Ing. Luis Horcasitas Manjarrez 155

LOS INGENIEROS Y LAS PRESAS

Ing. Carlos Chavarri M. 160

OBRAS HIDRÁULICAS CON ENERGÍA

Ing. Federico Schroeder C. 161

OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE PRESAS

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PRESAS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ing. Jorge Alberto Hernández de la Torre 171

LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS EN MÉXICO

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, Ing. Ulrich Hungsberg, Ing. Paul Alfaro Nava 175

PRESENTACIÓN DE CASOS

PROYECTO PRESA ARCEDIANO. ABASTECIMIENTO DE AGUA A GUADALAJARA

Ing. Enrique Dau Flores 189

PRESENTACIÓN DE CASO: PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA PAROTA

Évert V. Hernández López 195

LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS Y SU GESTIÓN INTEGRADA POR CUENCAS EN UN CONTEXTO DE ESCASEZ,

EL CASO DE GUANAJUATO

Ricardo Sandoval Mínero, Adrián Ávila Reyes 209

FINANCIAMIENTO DE LAS PRESAS

ESTRUCTURA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA BAJO LA MODALIDAD PIDIREGA

Lic. Guillermo Fernández Pineda 221

EL CAJÓN OBRA PÚBLICA FINANCIADA

Ing. José Luis Guerrero 229

EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL FINANCIAMIENTO DE PRESAS EN MÉXICO

Ing. Luis F. Robledo Cabello 241

CONCLUSIONES Y CLAUSURA

CONCLUSIONES DEL FORO INTERNACIONAL, EL HOMBRE Y LAS PRESAS 251

MENSAJE DE CLAUSURA DEL PRESIDENTE DE LA AMH

Dr. Gustavo A. Paz Soldán Córdova 257

CLAUSURA

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés 259

MENSAJE INAUGURAL

Dr. Gustavo Paz Soldán Córdova

Contador Público Antonio Echeverría Domínguez, Gobernador Constitucional del Estado de Nayarit, *Doctor Felipe Arreguín Cortés*, Subdirector General Técnico de la Comisión Nacional del Agua y representante personal del *Licenciado Cristóbal Jaime Jáquez*, Director General de la Comisión Nacional del Agua, *Ingeniero Benjamín Granados Domínguez*, Representante personal del *Ingeniero Alfredo Elías Ayub*, Director General de la Comisión Federal de Electricidad, Distinguidos Miembros del Presidium, Señoras y Señores:

Es para mi un honor dirigirme a ustedes en nombre de la AMH, nuestra Asociación reúne a los expertos en el estudio del agua, fue fundada hace 40 años y tiene por principal objetivo buscar el desarrollo hidráulico sostenible de México.

La Infraestructura Hidráulica ha sido soporte del crecimiento del país, su construcción inicia desde la época prehispánica y en la época postrevolucionaria tiene su mayor crecimiento. Sin embargo desde hace ya varios años que la infraestructura requerida ha sufrido un gran rezago por diversos motivos, comprometiendo el bienestar y desarrollo del país.

La distribución de los recursos hidráulicos en el mundo es muy variable, tanto en el tiempo como en el espacio. La precipitación ocurre mayoritariamente en sólo unos pocos meses del año y la población se ha ubicado en lugares donde los recursos hídricos son muy limitados. El hombre desde sus orígenes ha empleado a la naturaleza para su bienestar; así descubrió el fuego y éste le sirvió para calentarse, cocinar sus alimentos y protegerse, sin embargo, estos beneficios tenían un costo, que entonces pasaban desapercibidos, como lo eran los deterioros ecológicos, aunque el mismo hombre sufría los daños directos e indirectos que el fuego le ocasionaba, como las muertes por incendios o simplemente empezó a sentir la contaminación en los espacios reducidos de sus cuevas.

De igual manera, los recursos naturales fueron empleados por el hombre para satisfacer sus necesidades y para mejorar su forma de vida. Dado que estos recursos eran enormes comparados con las necesidades o utilización que se hacía de ellos. Debido a que la autodepuración o regeneración que la naturaleza realiza, la oferta superaba a la demanda, por lo que no se volvía crítica la situación de nuestro planeta. Solamente se apreciaban los daños que los fenómenos naturales como los huracanes, heladas, sismos, tsunamis, incendios y tornados, que causaban muertes, enfermedades y grandes pérdidas económicas, que llevaban mucho tiempo en regresar a las condiciones originales y en muchas ocasiones el cambio se volvió permanente.

El hombre por su instinto de sobrevivencia tiene que protegerse de la propia naturaleza, por lo que ha hecho obras y acciones que eviten los daños y lo protejan. Estas involucran cambios a la naturaleza, que en el pasado no se evaluaban, porque la prioridad era la protección de las vidas humanas.

Paradójicamente, en muchas regiones del planeta se carece de agua la mayor parte del año, pero en la época de lluvias, éstas son torrenciales con fuertes intensidades que ocasionan grandes escurrimiento que rebasan la capacidad de conducción de los ríos, ocasionando severas inundaciones. El hombre entonces descubrió las presas, porque las presas forman parte de la naturaleza misma, lo observó en los lagos y depresiones en donde se almacenaba el agua, de esta forma al colocar obstáculos en los ríos pudo guardar el agua para utilizarla en el estiaje. Desde su

origen el hombre fue constructor, alteró su hábitat natural, pero siempre para protegerse y buscar su bienestar.

El crecimiento de la población ocasionó el desarrollo de las obras de infraestructura, que alteraban o cambiaban la naturaleza, entonces se empezó a poner mayor atención a los efectos que sobre el ambiente y otras situaciones ocasionaba la construcción y operación de las presas. Indudablemente que los beneficios que para la seguridad y bienestar del hombre tienen las presas es enorme, especialmente cuando se conjuntan varios usos; como la regulación o control de las avenidas, el almacenamiento del agua para abastecer a ciudades, industrias y zonas de riego, la acuacultura, el turismo, la navegación y la energía potencial del agua para generación de electricidad. Pero este conocimiento y evaluación de los beneficios no implica no detectar y evaluar con la misma precisión los costos y requerimientos sociales y ambientales que se tengan, de tal forma que se definan y evalúen las medidas de mitigación para poder determinar la factibilidad técnica, social, ambiental, cultural, económica y financiera del proyecto en cuestión.

En 1999 la Asociación Mexicana de Hidráulica realizó el foro: El Desarrollo de las Presas en México, en el cual se revisó su estado del arte. En este año en que la AMH celebra sus primeros cuarenta años, realizamos este Foro de Las Presas y el Hombre, para revisar y poner a consideración de toda la sociedad la situación actual de estas obras hidráulicas que han servido para salvar muchas vidas humanas, además de soportar y colaborar en el desarrollo de la humanidad. Revisaremos la situación técnica involucrada en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las presas, en sus diversos usos, sus implicaciones sociales y la gran importancia que para el medio ambiente representan, así como la situación económica y financiera para decidir y soportar su construcción.

Esperamos que los resultados de este foro impacten fuertemente en la conciencia de toda la población, especialmente en los responsables de las tomas de decisión. Nuestra forma de pensar ha tenido un cambio positivo, en nuestras decisiones del presente ya pensamos en el futuro, en cuidar el planeta que tenemos prestado, para mañana entregarlo con toda su riqueza, pero también con una mejor calidad de vida para nuestros descendientes.

Quiero, en nombre de la Asociación Mexicana de Hidráulica agradecer a todos ustedes su asistencia, interés y participación que enriquecerá y logrará nuestro propósito, nuestro agradecimiento a las instituciones que con esa gran responsabilidad por nuestro presente y futuro han apoyado la realización de este foro, gracias a la *Comisión Federal de Electricidad*, la *Comisión Nacional del Agua*, el *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* y las instituciones educativas. Igualmente, nuestra gratitud a las empresas consultoras, constructoras y fabricantes por su patrocinio. Nuestra agradecimiento a la *ciudad de Tepic* por recibirnos y, muchas gracias Señor Contador *Antonio Echevarria* por su gran interés y apoyo brindado para que el *Foro Las Presas y el Hombre* sea todo un éxito.

Señoras y Señores gracias por su presencia y participación, estoy convencido que los resultados serán para beneficio de la humanidad.

FORO INTERNACIONAL LAS PRESAS Y EL HOMBRE

INAUGURACIÓN

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés

Señor Gobernador del estado libre y soberano del estado de Nayarit, Contador Antonio Echevarría Domínguez, doctor Gustavo Paz Soldán Córdova, Presidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica, distinguidos miembros del presidium, señoras y señores:

Reciban ustedes un caluroso saludo del Lic. Cristóbal Jaime Jáquez, Director General de la Comisión Nacional del Agua, quien a través de mi persona les ofrece una disculpa por no poder asistir a esta importante reunión.

México es un país con una larga tradición en la construcción de presas, que se inicia en la época de la colonia, y que se fortalece después de la revolución cuando se crea la Comisión Nacional de Irrigación en 1926, y con las sucesivas transformaciones de las dependencias relacionadas con el manejo de los recursos hídricos hasta la actualidad, donde la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad, conservan esta tradición hidráulica al frente de un importante grupo de gobiernos estatales, organizaciones de usuarios y personas físicas propietarias de las presas mexicanas.

Y señalo específicamente a los propietarios de las presas, pues en México se estima que existen del orden de 8 mil bordos y presas, aunque la CNA sólo tiene registrados 4,083, esto se debe a que año con año los gobiernos estatales apoyan la construcción de cientos de bordos que es difícil registrar inmediatamente, de las 4083 presas, 863 pertenecen a particulares, 1225 a asociaciones de usuarios, 316 a gobiernos estatales, 56 a la Comisión Federal de Electricidad y 884 a la Comisión Nacional del Agua, es decir, solamente el 27% de las presas son propiedad de la federación, aunque vale la pena señalar que son las más altas y las de mayor almacenamiento.

Es importante este señalamiento, porque muestra claramente que estos propietarios de las presas participan en el desarrollo de nuestro país, pero también que tienen la responsabilidad de operar y mantener en condiciones de seguridad sus presas.

Las presas en México se han construido para suministrar agua para consumo humano, para abastecer a la industria y a las zonas de riego, para generar energía y para proteger a las poblaciones contra inundaciones.

De esta manera han sido promotoras del desarrollo nacional, de la creación de empleo, del crecimiento industrial y de la producción de los alimentos que demanda el pueblo mexicano.

Sin embargo, en épocas recientes también se ha cuestionado la construcción de estas obras, sobre la base de los impactos ambientales y sociales de las mismas.

Somos conscientes de los impactos que pueden generar las presas, pero también de los beneficios que proporcionan. Sería muy difícil imaginar cómo enfrentaría la ciudad de Villahermosa la época de lluvias, sin las presas que la protegen, reduciendo sustancialmente el riesgo de inundaciones, o como se abastecerían de agua para consumo humano las ciudades de

México o Monterrey sin el sistema de presas que abastecen a la planta potabilizadora Cutzamala, y las presas El Cuchillo y La Boca respectivamente, o cómo se movería el país sin energía eléctrica de las presas del sistema eléctrico nacional, o cuál sería el grado de importación de alimentos si no tuviéramos las presas del Noroeste y del Lerma, para regar los campos mexicanos que producen los granos, hortalizas y frutos que todos consumimos.

Estamos seguros de que solamente en la medida en que tengamos mayor conocimiento de los impactos y beneficios de las presas, y seamos capaces de transmitir de mejor forma esta información a la sociedad en general, podremos ponernos de acuerdo para construir las presas que requiere el desarrollo futuro del país, definiendo e instrumentando las medidas de mitigación social y ambiental adecuadas.

En este Foro Internacional, se han incluido temas técnicos, de docencia, investigación y desarrollo tecnológico, de financiamiento y de los impactos y beneficios sociales y ambientales que generan las presas.

Agradecemos su hospitalidad señor gobernador del estado de Nayarit, donde con su visión ha apoyado la construcción actual de la presa El Cajón, que demuestra que buscando los consensos adecuados, entre la sociedad y la autoridad responsable de atender las demandas de la población mexicana, se puede construir la infraestructura necesaria para su desarrollo.

Finalmente quiero hacerles una invitación, a todos ustedes para que participen en el 4°. Foro Mundial del Agua, que se celebrará en nuestro país en marzo del próximo año.

Sean ustedes bienvenidos a este Foro Internacional Las Presas y el Hombre.

*Las Presas
y el Hombre*

Usos de las presas

○

○

○

○

LAS PRESAS EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Ing. José Manuel Fernández Dávila

A 107 años de haberse construido la primera Central Hidroeléctrica en este país, la capacidad instalada en el Proceso de Generación Hidroeléctrica, alcanza hoy en día un total de 10,263.820 MW, distribuidos en 64 Centrales con un total de 185 unidades, cifras que en comparación con la capacidad total instalada en el Sistema Eléctrico Nacional, representa el 22.46%.

La capacidad Hidroeléctrica instalada, se encuentra distribuida en 5 Regiones Administrativas, relacionadas con las cuencas de los ríos más importantes del país, y que en orden de su capacidad instalada, enumeramos a continuación; destacando las Centrales más importantes en el ámbito de su responsabilidad:

REGIÓN GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA GRIJALVA:

- C.H. BELISARIO DOMÍNGUEZ (ANGOSTURA)
- C.H. MANUEL MORENO TORRES (CHICOASÉN)
- C.H. MALPASO
- C.H. ÁNGEL ALBINO CORZO (PEÑITAS)

REGIÓN GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA BALSAS:

- C.H. AGUAMILPA (SOLIDARIDAD)
- C.H. INFIERNILLO
- C.H. VILLITA
- C.H. VALENTÍN GÓMEZ FARÍAS (AGUA PRIETA)

REGIÓN GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA IXTAPANTONGO:

- C.H. CARLOS RAMÍREZ ULLOA (CARACOL)
- C.H. FERNANDO HIRIART BALDERRAMA (ZIMAPÁN)

REGIÓN DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA NOROESTE:

- C.H. LUIS DONALDO COLOSIO (HUITES)
- C.H. PLUTARCO ELÍAS CALLES (EL NOVILLO)

REGIÓN DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA GOLFO:

- C.H. TEMASCAL
- C.H. MAZATEPEC

Estas 14 Centrales, representan para el Proceso de Generación Hidroeléctrica el 89% de su producción y son a excepción de la C.H. Valentín Gómez Farías, las Centrales que utilizan las grandes presas de almacenamiento de este país.

La participación del Proceso de Generación Hidroeléctrica en la producción del Sistema Eléctrico Nacional, depende de la precipitación, por lo que la contribución media anual la podríamos determinar en 24 000 GWh.

Esta participación podría ser incrementada en la medida que se tome la determinación de incorporar en la expansión del Sector Eléctrico una política más agresiva en la construcción de las Centrales Hidroeléctricas, dado que la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos tiene identificado un potencial de 512 proyectos que representarían una capacidad instalada de 42 473 MW con una Generación media anual de 115 267 GWh.

Se tiene a la fecha sin explorar, un activo Nacional en materia de presas, construidas con fines de irrigación, control de avenidas y abastecimiento público, que podrían utilizarse en la Generación de Energía Eléctrica.

Es importante el realizar esfuerzos conjuntos entre las Secretarías relacionadas con el agua y sus beneficios para que con los beneficios conjuntos, se puedan obtener los retornos de la inversión en la infraestructura civil (presas), que permitan el mejor aprovechamiento del agua.

LAS PRESAS PARA RIEGO

Ing. César Octavio Ramos Valdés

ANTECEDENTES

Las Presas alteran principalmente el régimen de los ríos y el aprovechamiento de los recursos naturales, generando al mismo tiempo una nueva distribución de beneficios en las zonas de riego, cuyas obras reflejan los esfuerzos del hombre encaminados a resolver los problemas del agua derivados de su calidad, escasez y exceso.

Asimismo en su diseño, se toman en cuenta diversos aspectos relacionados con el crecimiento poblacional; los intereses creados en los diversos sectores productivos por la competencia de uso del agua; los conflictos sociales derivados por el desplazamiento de núcleos de población y los impactos ambientales que se generan, con el propósito de garantizar un desarrollo sustentable del agua.

Entre el período de 1910 a 1926, la agricultura experimentó un auge importante, ya que fueron otorgadas un sinnúmero de concesiones para el aprovechamiento de las aguas en irrigación y en la generación de energía eléctrica, destacándose por su importancia, la construcción de la Presa La Boquilla sobre el río Conchos en el Estado de Chihuahua, cuya cortina de concreto aplicando tecnología extranjera, fue la más grande del mundo en esa época, beneficiándose **hasta 1925**, una superficie de riego de **820,000 hectáreas**.

Con la creación de la Comisión Nacional de Irrigación en el año de 1926, se dio un importante avance en la política hidráulica del país con la construcción de la Presa Venustiano Carranza (Don Martín) en el Estado de Coahuila, en la que se utilizó rodillo liso para la compactación de materiales, y es a partir de 1936, con la ampliación y aplicación de conocimientos de la Mecánica de Suelos, cuando se logra un avance tecnológico significativo en la construcción de Presas con cortinas de sección homogénea; de materiales graduados y de concreto, ya que por primera vez, fueron utilizados equipos como el rodillo pata de cabra para la compactación de los materiales con el auxilio de laboratorios de campo, destacándose como las más importantes de este tipo: la Lázaro Cárdenas (El Palmito), en Durango; Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), en Puebla; Marte R. Gómez (El Azúcar), Tamps., así también la construcción de cortinas de arco de concreto, tales como las Presas Calles y Pabellón en Aguascalientes y Angostura en Sonora, habiéndose beneficiado **hasta 1946**, **1.7 Millones de hectáreas**. Durante este período hubo necesidad de recurrir en los aspectos de diseño y construcción de presas exclusivamente, a la asesoría de técnicos extranjeros con el fin de capacitar a los técnicos mexicanos; no obstante, a finales de 1945, ya se disponía de una tecnología propia para la ejecución de las obras de infraestructura hidroagrícola, que desde ese entonces, ha sido exportada a otros países para orgullo de los mexicanos.

La extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos, durante el período de **1947-1976**, marcó el inicio de una acción gubernamental más amplia para el aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos. Es en ese período cuando se aplican los estudios de ingeniería desarrollados en México, que permiten lograr mayor seguridad y economía en la construcción de las grandes presas con fines principalmente de irrigación, generación de energía eléctrica, control de

avenidas, uso urbano e industrial; entre otras cabe citar las Presas: Álvaro Obregón (Oviáchic), en Sonora; Francisco I. Madero (Las Vírgenes), en Chihuahua; Miguel Hidalgo (Mahone) y Adolfo López Mateos (El Humaya), en Sin., y Malpaso en Chiapas, representando una superficie hasta el año de 1976 de **4.2 Millones de hectáreas**.

Durante el período de 1976-1989 de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, sobresalen la construcción de las Presas José López Portillo (Comedero) y Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato) en Sinaloa; Constitución de Apatzingán (Chilatán), en Michoacán, así como Miguel de la Madrid (Cerro de Oro) en Oaxaca, con las cuales se benefició con riego una superficie de **540,000 hectáreas**.

Asimismo, sobresalen las presas Solidaridad (El Cuchillo), en Nuevo León; Trojes en Colima; Trigomil en Jalisco y Luis Donaldo Colosio (Huites) en Sinaloa. De éstas sobresale la Presa Trigomil, donde se aplicó por primera vez en nuestro país la tecnología de concreto compactado con rodillo (CCR), en esa época, por su magnitud fue la Presa más grande del mundo en su tipo. En cuanto a la Presa Huites, también destaca por su cortina de sección gravedad y arco; cuya construcción marcó un récord a nivel mundial en su momento, por los volúmenes de concreto colocados, por el reducido plazo de construcción, y por la aplicación de procesos constructivos novedosos.

Los logros alcanzados en infraestructura hidroagrícola hasta **1994**, fueron de **6.2 millones de hectáreas**, y una capacidad de almacenamiento en las presas de 160,000 millones de metros cúbicos, que permitió a nuestro país ocupar una posición muy destacada, ya que lo ubicó en el séptimo lugar a nivel mundial en cuanto a superficie de riego se refiere.

SUPERFICIE DE RIEGO BENEFICIADA	
PERIODO	DISTRITOS Y UNIDADES DE RIEGO
Hasta 1926	820,000 hectáreas
1926 - 1946 (CNI)	1.7 millones de hectáreas
1947 - 1976 (SRH)	4.2 millones de hectáreas
1976 - 1989 (SARH)	5.5 millones de hectáreas
1990 - 1994 (CNA)	6.2 millones de hectáreas
2004 (CNA)	6.4 millones de hectáreas

- Actualmente existe en el país una superficie de riego de 6.4 Millones de hectáreas, de las cuales 3.5 Millones de hectáreas son beneficiadas mediante el aprovechamiento de los volúmenes almacenados en 127 grandes Presas distribuidas en las regiones noroeste, noreste, centro y sur, y los 2.9 Millones de hectáreas restantes, a través de las 39,492 Unidades de Riego dispersas en el territorio nacional. De éstas, 1,828 Unidades tienen como principales fuentes de aprovechamiento pequeñas presas para el riego de 350,000 hectáreas.
- Es importante señalar, que de las 2200 Presas de Almacenamiento existentes en nuestro país, 127 de ellas se consideran como las más importantes por su capacidad de almacenamiento; de éstas, 81 o sea aproximadamente el 64%,

tienen más de 40 años de construidas las cuales están por llegar al término de su vida útil que es de 50 años considerado este parámetro en su diseño según la normatividad vigente en esta Institución.

- Lo anterior nos indica, que estas grandes presas se han ido azolvando paulatinamente, debido principalmente al arrastre de sedimentos proveniente de las cuencas que son depositados en sus vasos lo que ha originado una disminución en su capacidad de almacenamiento; no obstante, existen algunas presas que han prolongado su vida útil, o sea que éstas no han recibido tanta aportación de sedimentos en sus vasos durante su operación.
- Para atender esta problemática y seguir aprovechando la infraestructura de las Presas existentes, una alternativa de solución utilizada en las Presas de tierra, concreto y de enrocamiento, consiste en la sobreelevación de sus cortinas, en el que su dimensionamiento está basado en la actualización del estudio hidrológico, sin omitir desde luego, lo referente a la sobreelevación de las obras de toma y de excedencias, siempre y cuando esto se haga necesario, además de disponer de la factibilidad geológica que garantice su seguridad estructural.
- Otra de las soluciones utilizadas es la aplicación de tecnología de punta denominada Rubber Dam, la cual ya ha sido empleada en varios Proyectos, sobresaliendo los Proyectos de Sobreelevación de las Presas La Cangrejera, en el Estado de Veracruz y la Francisco I. Madero (Las Vírgenes), en el Estado de Chihuahua, que mediante la instalación de diques de goma inflables en sus vertedores, permite almacenar mediante un sistema de control automatizado y de acuerdo a una política de operación preestablecida, un volumen adicional de agua proveniente de las "colas" de las avenidas sin alterar las condiciones de seguridad hidrológica e hidráulica establecidas en el Proyecto original. Cabe resaltar, que este sistema adoptado permite reducir sustancialmente, los costos y tiempos de ejecución en las obras con la aplicación de esta nueva tecnología.
- Actualmente y con esta misma tecnología, está por iniciarse la sobreelevación del vertedor de la Presa Marte R. Gómez (El Azúcar), en el Estado de Tamaulipas, cuyo sistema permitirá disponer de un volumen adicional de 550 Mm³ para garantizar el abasto de agua en las ciudades fronterizas, así también la consolidación en el Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan en dicho Estado.
- Tomando en cuenta la importancia que reviste la Conservación de Presas en el país, esta Institución a través del Programa de Operación y Conservación de Presas lleva a cabo los monitoreos estructurales y electromecánicos, que permiten identificar el comportamiento de estas obras y las necesidades de rehabilitación, que en algunos casos, son detectados con las inspecciones realizadas, a efecto de garantizar la seguridad estructural de las Presas.
- Se ha avanzado indudablemente en la construcción de Presas y Zonas de Riego, así como en la Conservación y Rehabilitación de estas obras; sin embargo, aún falta mucho por hacer ¿Qué nos espera? ¿Cuáles son las perspectivas en el corto y mediano plazo? Algunos de los temas que se deberá poner especial atención son los siguientes:

- Instrumentar una política para el desarrollo sustentable coordinada por el Ejecutivo Federal, en la que se incluyan estrategias bien definidas para hacer frente a procesos que exigen la cooperación internacional, así como lineamientos que propicien la participación de la sociedad en la articulación de un esquema funcional de desarrollo sustentable.
- En el plano nacional, la puesta en práctica de una política de desarrollo sustentable debe conducir al establecimiento de acciones prioritarias para contener el deterioro ambiental, principalmente en zonas críticas:
- Atender la problemática derivada por el ingreso de azolves en los vasos de las Presas mediante Proyectos nuevos y de sobreelevación, con el fin de satisfacer las demandas de agua en los Distritos y Unidades de Riego, y con ello, mantener no solamente los niveles de producción y de productividad, sino también dar respuesta a los requerimientos sociales que se establecen en las directrices del Plan Nacional de Desarrollo.
- Impulsar una cultura para la preservación del ambiente y el desarrollo sustentable, promoviendo la educación y la amplia difusión de información que generen actitudes de respeto al ambiente por parte de todos los integrantes de la sociedad.
- Planear el uso del agua a mediano y largo plazo, con recursos suficientes para cubrir sus necesidades futuras y para frenar la degradación, sobreexplotación y contaminación de cuencas y acuíferos.

México debe ser una nación que cuente con seguridad en el acceso al agua necesaria para su desarrollo; por ello, en su Política hidráulica se deberá priorizar la realización de estudios, proyectos y construcción de nuevas Presas, así como la rehabilitación, mantenimiento y conservación de la infraestructura construida, en la que se establezca la condición de utilizar el agua de manera eficiente en los Distritos y Unidades de Riego ya que en estos se utiliza el mayor volumen, el cual es del orden del un 74% del total, paralelamente deberá de eficientizarse para los usos industrial y de agua potable, con el nivel cultural que le permita reconocer su valor vital, estratégico y económico y preserve su calidad para beneficio no sólo de las actuales generaciones, sino también de las futuras.

En las obras construidas está nuestro pasado, son nuestro presente y representan un patrimonio vital de las generaciones futuras de mexicanos; por tanto conservar y continuar con la construcción de la infraestructura hidráulica, será una tarea fundamental de la Ingeniería Civil que representa un compromiso que nos involucra a todos, de esto depende satisfacer la demanda creciente de alimentos, y el desarrollo sustentable del país.

CASO DE LA PRESA PARA CAMBIO DE RÉGIMEN ASOCIADA AL P.H. LA PAROTA, GRO.

Ma. Magdalena Alday Higueldo

José Guadalupe García García

Para proceder responsablemente con el aprovechamiento de los recursos naturales y tomar acciones para no deteriorar el ambiente, la CFE identificó la necesidad de proponer aguas abajo del sitio del proyecto hidroeléctrico La Parota, Gro., una presa de regulación diaria y las obras necesarias para cambiar parcialmente el régimen de las descargas por generación de la planta hidroeléctrica del P.H. La Parota, Gro. reintegrando hacia el tramo de río aguas abajo gastos controlados y aprovechables.

El sitio propuesto para la presa para cambio de régimen (PCR), se localiza a 10.12 km aguas abajo del P.H. La Parota. Es una presa vertedora tipo CCR, con capacidad de almacenamiento de 7.8 Mm³. El diseño del vertedor se diseñó para un gasto de 16 817,00 m³/s resultado de transitar por la obra de excedencias del P.H. La Parota la avenida con periodo de retorno de mil años. La obra de generación es exterior, la cual alojará dos turbinas kaplan tipo "S" con capacidad instalable de 6,18 MW para producir una generación media anual de 44.76 GWh.

La PCR, la integra también una estructura desarenadota o toma ecológica, que operará diariamente desalojando gastos variables desde cero hasta un máximo 650 m³/s. Así mismo, cuenta con: toma para riego con capacidad de de 2 m³/s para cubrir una zona de riego de 4 000 ha y toma para agua potable, diseñada para transportar un gasto de 10 m³/s.

Los impactos que se podrán mitigar y anular con la construcción de la PCR, están relacionados con la disminución de la erosión en el cauce, mantener el hábitat terrestre y hábitat acuático, aprovechar y disponer el agua para riego y agua potable, mantener las condiciones actuales en la dinámica costera, empleo, desarrollo económico, cambio y calidad de vida, etc.

ANTECEDENTES

La Central del P.H. La Parota, Gro., está prevista operarla en las horas de máxima demanda; lo que implica modificar los escurrimientos naturales del río en cantidad, calidad y distribución a lo largo del tiempo. Se determinó la necesidad de proponer las medidas necesarias para que en el tramo de río hacia aguas abajo del proyecto, se conserve o permita la vida ecológica, el abastecimiento de agua potable, el riego y no se afecte la infraestructura existente en la zona, mejorando las condiciones de riesgo que tienen actualmente las poblaciones circunvecinas al cauce; por tal motivo, se ha llevado a cabo, el estudio de una Presa de regulación para Cambio de Régimen (PCR).

SELECCIÓN DEL SITIO:

Para la ubicación de la PCR se analizaron siete ejes de boquilla (figura 1); la selección obedeció: buscar un mínimo de afectaciones por inundación de poblados e infraestructura para agua potable que actualmente se encuentran en operación, morfología topográfica, geología y costo de

construcción. El sitio para la edificación de la presa y las obras que la integran, corresponde al sitio que se localiza a 10,12 kilómetros aguas abajo del P.H. La Parota. Gro.

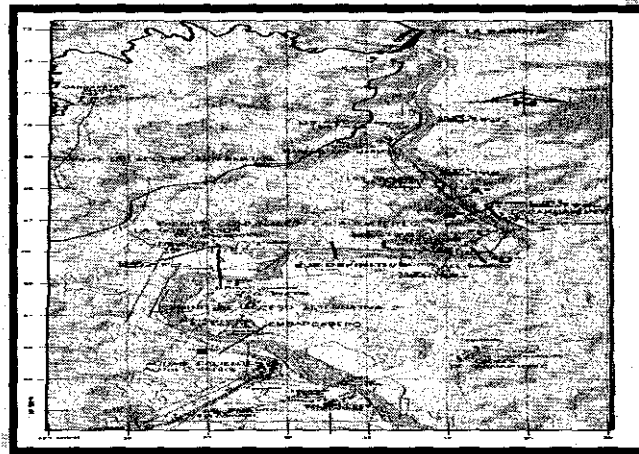


Figura 1.
Ubicación PCR

LOCALIZACIÓN

La boquilla de la PCR se encuentra sobre el cauce principal del río Papagayo, 29 km antes de desembocar al océano Pacífico y 25,00 km al noreste de la ciudad de Acapulco, Gro. (Figura 2).



Figura 2.
Localización

ASPECTOS HIDROLÓGICOS

- Área de la cuenca propia de la PCR : 122,90 km²
- Área afectada por el embalse (elevación 27,41 m): 2,25 km², no se tienen afectaciones por inundación a poblados.
- Avenidas máximas asociadas a los diferentes períodos de retorno (Tr's):

Tr	SIN P.H. LA PAROTA	CON P.H. LA PAROTA Y PCR
50 años	Q= 6 199	Q= 9 765
1 000 años	Q=18 300	Q= 16 817
10 000 años	Q= 25 000	Q=18 986

Para definir el nivel de la superficie libre del agua y calcular las superficies de inundación ante el paso de estas avenidas, con cada uno de los gastos máximos, se llevaron a cabo los remansos hidráulicos en el río Papagayo, en el tramo comprendido entre el desfogue del P.H. La Parota y su desembocadura en el Océano Pacífico.

El análisis de los remansos considera tres condiciones: sin el P.H. La Parota, con el P.H. la Parota, y el P.H. la Parota con la PCR.

- La legislación para autorizar la construcción de la PCR requeridos por la Comisión Nacional del Agua, indica que se debe proteger contra inundaciones a los asentamientos humanos que se localicen en las proximidades del embalse, considerando un período de retorno de mil años correspondiente a un gasto de 16 817 m³/s.
- La cobertura vegetal en la superficie por afectar con la construcción de esta obra es de 3,70 km². incluye las obras permanentes, caminos de acceso y construcción, áreas para almacenes y talleres, bancos de aluvión y tiraderos de material por el producto de las excavaciones.

OPERACIÓN DEL VASO REGULADOR

La capacidad del vaso se determinó de acuerdo con un funcionamiento que reduce al mínimo el gasto máximo descargado diariamente (durante el lapso que genera la planta en La Parota) y manteniendo un gasto constante durante las 24 horas; considerando los parámetros:

- Curva elevaciones-áreas-capacidades del embalse
- Aportaciones a éste (750,00 m³/s durante las 4,00 horas de generación del P.H. La Parota)

- Extracciones durante todo el día, para lo cual fue necesario determinar la capacidad útil máxima garantizando una extracción máxima durante el llenado y vaciado del vaso, adecuada para regular las descargas de generación del P.H. La Parota y no tener derrames por vertedor (Figuras 3 y 4); lo cual determinó las características del vaso y las extracciones:

NAMO ⁽¹⁾ (nivel cimacio vertedor)	27,41 m
NAMinO ⁽²⁾	24,00 m
Capacidad al NAMO	$8,7941 \times 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad al NAMinO (Capacidad muerta)	$2,8965 \times 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad útil	$5,8976 \times 10^6 \text{ m}^3$
Gasto descargado en el vaciado del vaso (20,00 h)	81,91 m ³ /s
Gasto descargado en el llenado del vaso (4 h)	variable
Gasto almacenado durante el llenado del vaso (4 h)	variable
Gasto máximo extraído diariamente	359,90 m ³ /s
Notas: ¹ Nivel de aguas máximo ordinario	NAMO
² Nivel de aguas mínimo de operación	NAMinO

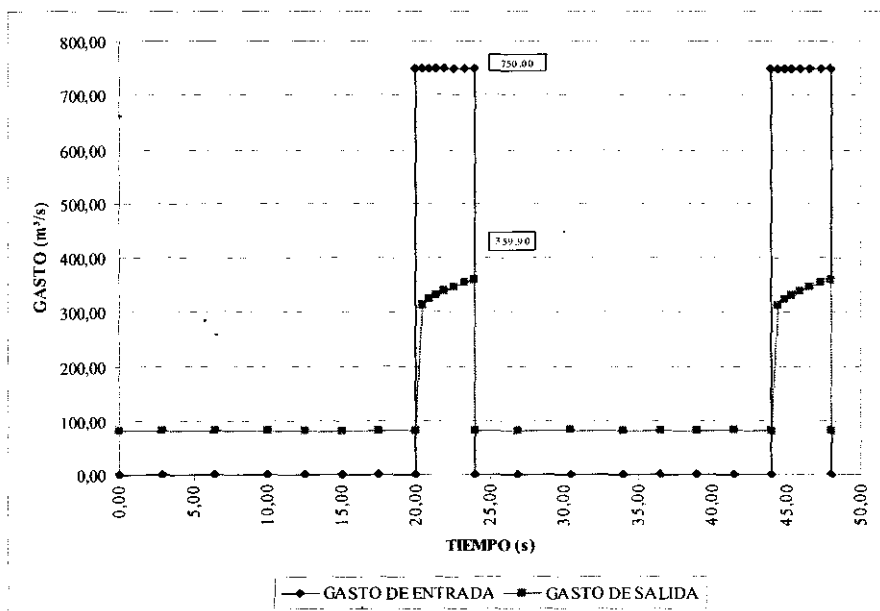


Figura 3.
Hidrograma de entrada y salida

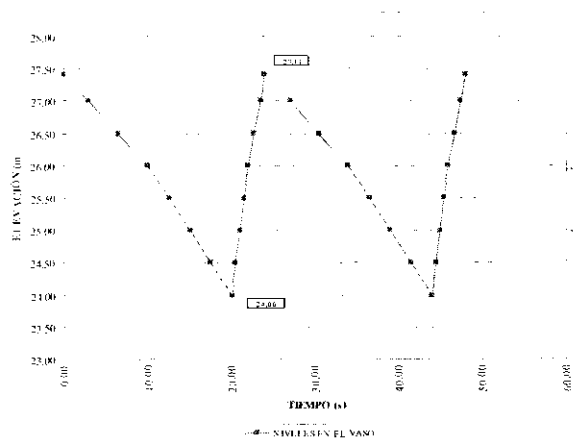


Figura 4.
Comportamiento del vaso durante su operación

DESCRIPCIÓN DE OBRAS

CORTINA VERTEDEDORA

Es una cortina de concreto, en la cual el volumen masivo de la sección vertedora se construirá con concreto compactado con rodillo (CCR) y piel de concreto armado para recubrir el cimacio; los empotramientos en ambas márgenes serán construídos con concreto simple, (sección gravedad).

La estructura está proyectada con una longitud total de 539,97 m; los cuales corresponden 324,85 m en sección vertedora; con altura máxima de 38,00 m, considerando el desplante hasta la roca firme, elevación de la cresta del vertedor en la cota 27,41 m y elevación de corona (empotramientos sección gravedad) a la 39,00 m.

El diseño del vertedor se diseñó para un gasto de 16 817,00 m³/s resultado de transitar por la obra de excedencias del P.H. La Parota la avenida con periodo de retorno de mil años, resultando una longitud de vertedor de 324,85 m carga de diseño de 11,09 m obteniéndose un nivel de aguas máximo extraordinario (NAME) con elevación 38,50 m.



Figura 2.
Sección vertedora

TOMA PARA RIEGO

La toma para riego, consiste en dos tomas independientes, una por cada margen. Ambas con una tubería de 1,00 m de diámetro. Esta estructura permite la integración de una superficie de riego correspondiente a 4 000 hectáreas aguas abajo de la PCR por ambas márgenes (estimación proporcionada por CNA), en la que se definió un gasto de 4,00 m³/s.

OBRA DE GENERACIÓN

Considerando las condiciones de diseño de la obra para generación del P. H. La Parota, la cual operará durante 4 horas al día con un gasto constante de 750.00 m³/s, aportaciones que recibirá diariamente la PCR y que de acuerdo a su capacidad de almacenamiento, se podrá extraer un gasto constante de 100 m³/s durante el mismo tiempo y 81.91 m³/s en las 20.00 horas restantes, se determinó oportuno aprovechar ese recurso, colocando un dispositivo de generación de energía que aprovechara al máximo las descargas.

La obra de generación se ubica en MI separando al vertedor del muro de empotramiento. La plantilla de la estructura de toma se encuentra a la elevación 18,00 m, con casa de máquinas al exterior de 14,00 m de longitud, 27,05 m de ancho y 19,85 m de altura; las dos turbinas kaplan son del tipo "S" y el canal de salida tiene su plantilla a la elevación 16,00 m con 25,00 m de ancho.

OBRAS DE CAPTACIÓN PARA AGUA POTABLE

Con base en las condiciones de diseño planteadas por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), la CFE pretende restituir el impacto al sistema de captación de agua que tiene operando CAPAMA y se comprometió a construir las obras de captación y las estructuras necesarias que garanticen los requerimientos que CAPAMA tiene previstos para cubrir las demandas de abastecimiento de agua potable hasta el año 2033. Las obras que considera la CFE son: 12 pozos radiales que captarán el agua filtrada en los playones, estimando extraer 0,60 m³/s por cada uno de los pozos propuestos.

Así mismo, se dispuso en la PCR una toma directa con capacidad para diez metros cúbicos por segundo.

OBRA DESARENADORA Ó TOMA ECOLÓGICA

La obra se ubica sobre la MD; la integran un canal de llamada, una estructura de control con 2 compuertas radiales, una pantalla para el cierre total, se continúa hacia aguas abajo con un canal revestido, concluyendo el revestimiento donde la pendiente se hace horizontal, de donde continúa sin revestir hasta el cauce del río.

Operará diariamente durante el llenado del vaso con un gasto variable desde cero hasta un máximo de 300,00 m³/s, condición de diseño que deberá mantener limpia la zona de las tomas sobre la MD para poder operar adecuadamente.

Los datos técnicos que describen el proyecto se presentan la siguiente tabla:

<i>Embalse</i>			
	Elevaciones [m]	Áreas [Ha ²]	Capacidades [Mm ³]
Corona	39,00	555,510	54,983
NAME	38,50	544,945	52,205
NAMO	27,41	219,000	8,794
NAMinO	24,00	109,720	2,897
Ndis	26,30		
Desfogue	17,48		

<i>Obra de generación</i>			
<i>Turbina tipo</i>	<i>Kaplan tipo "S"</i>	<i>Cargas</i>	
Número de turbinas	2,00	Bruta máxima	10,38 m
Gasto diseño por unidad	40,95 m ³ /s	Bruta mínima	4,62 m
Carga neta de diseño	9,05 m	Bruta de diseño	9,05 m
Consumo específico	m ³ /kWh	Neta de diseño	8,78 m
Velocidad de rotación	rpm	Valores de los beneficios energéticos	
Potencia por turbina	3.04 MW	Generación media anual	51,84 GWh
Potencia por generador	3.10 MW	Generación Firme	GWh
Factor de planta medio	1,00	Generación Secundaria	GWh
Potencia total instalada	6,20 MW	Generación Firme en horas pico	GWh
		Generación Firme en horas fuera de pico	GWh

ASPECTOS AMBIENTALES

IMPACTOS ADVERSOS	
<i>Impactos Adversos Significativos</i>	
Componente	Descripción
<i>Cambio de uso de suelo</i>	<i>Formación de un vaso 225 ha</i>
<i>Actividades económicas</i>	<i>Explotación de bancos de aluvión, involucrándose superficie actualmente aprovechada por pobladores.</i>
	<i>Inundación de 21,56 ha de agricultura de temporal, 41,74 ha de cultivos perennes y 6 973m² de vías de comunicación</i>
<i>Asentamiento humanos</i>	<i>La formación del vaso afectará 6 973 m² de vías de comunicación y 0,19 ha de superficie de área urbana de Cacahuatpec y Parotillas.</i>
<i>Cambio y calidad de vida</i>	<i>Transformación del paisaje por construcción de obras.</i>
	<i>Emisiones de partículas a la atmósfera por la operación de vehículos, maquinaria y equipo</i>
	<i>Ateración por la afectación de 63,30 ha de actividades del sector primario, 6 973 m² de vías de comunicación.</i>

IMPACTOS BENÉFICOS	
<i>IMPACTOS BENÉFICOS SIGNIFICATIVOS</i>	
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
RELIEVE EROSIÓN	REGULACIÓN DE GASTO DE 750 A 400 - 80 M ³ /S, MINIMIZANDO LAS SUPERFICIES INUNDADAS
CAMBIO DE USO DE SUELO	
HÁBITAT TERRESTRE HÁBITAT ACUÁTICO	
APROVECHAMIENTO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA (INSTALACIONES PARA):	RIEGO AGUA POTABLE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
RÉGIMEN HIDRÁULICO	GASTO REGULADO DE 80 Y 400 M ³ /S POR 20 Y 4 HORAS RESPECTIVAMENTE.
PROCESO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN	REGULACIÓN DE GASTO DE 750 A 400 - 80 M ³ /S, DISMINUYE LA EROSIÓN SOBRE EL CAUCE DEL RÍO
PROCESOS COSTEROS	REGULACIÓN DE GASTO DE 750 A 400 - 80 M ³ /S, SE PRESENTAN CONDICIONES SIMILARES A LAS ACTUALES
EMPLEO PARA 500 TRABAJADORES:	ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO Y ETAPA DE CONSTRUCCIÓN
ACTIVIDADES ECONÓMICAS	LA REGULACIÓN DEL GASTO MINIMIZARÁ LAS SUPERFICIES INUNDABLES. LA GENERACIÓN MEDIA ANUAL DE 44,74 GWH QUE TRAERÁ CONSIGO LA PCR DE, SERÁ UNA OPORTUNIDAD PARA LA ZONA DE ELECTRIFICAR ALGUNA POBLACIÓN CERCANA AL PROYECTO, CREAR ALGÚN SISTEMA DE RIEGO O PROPONER LA FORMACIÓN DE UNA PEQUEÑA O MEDIANA EMPRESA
ASENTAMIENTOS HUMANOS	INCREMENTO DE SERVICIOS O PROGRAMAS A IMPLEMENTAR COMO ELECTRIFICACIÓN, SISTEMAS DE RIEGO O BOMBEO DE AGUA HACIA LAS POBLACIONES
CAMBIO Y CALIDAD DE VIDA	INCREMENTO EN LA CALIDAD DE VIDA POR INGRESO PER CÁPITA INCORPORACIÓN DE SERVICIOS Y EQUIPAMIENTO.

*Las Presas
y el Hombre*

**Red de laboratorios
de hidráulica en México**



**LA MODELACIÓN FÍSICA Y LA INVESTIGACIÓN
EXPERIMENTAL COMO SOPORTE PARA EL DISEÑO,
EL FUNCIONAMIENTO Y LA SEGURIDAD
DE LAS GRANDES PRESAS EN MÉXICO**

*V. Franco, J. Osnaya Romero,
C. Escalante Sandoval, R. Val Segura,
M. Montoya Rodríguez, D. L. Ávila Arzani
A. Aguilar Chávez, E. Pedroza González,
H. Marengo Mogollón, J. E. Camargo Hernández,
J. G. F. Rivera Trejo, P. L. Vega Quijada,
G. Soto Cortés, D. Guaycochea Guglieimi
E. Urquiza Marín, J. M. Caballero Ulaje,
P. Cristóbal Bernabé, G. López Mendoza,
J. Ortiz Medel, F. Ramírez Navarro*

RESUMEN

En el presente artículo se da a conocer la importancia que tienen los Laboratorios de Hidráulica de México en el desarrollo de estudios a través de la modelación y la investigación, de tal forma que respaldan todo el proyecto de diseño, el funcionamiento y la seguridad de las grandes presas.

En el desarrollo de la Ingeniería civil, y en este caso de la Hidráulica, la investigación experimental y el desarrollo tecnológico son dos de los pilares fundamentales. Es por ello, que los Laboratorios han jugado un papel importante y como resultado de ello le han dado a la Ingeniería Mexicana un gran prestigio a nivel mundial, por lo que se constituyen como una herramienta de trabajo, para los ingenieros civiles dedicados al proyecto de obras hidráulicas.

La idea de usar los modelos como instrumento de investigación en las distintas disciplinas científicas está actualmente al orden del día. Pero esta técnica en los últimos años, ha sido afectada por la evolución de las computadoras, que han coadyuvado en la solución de los problemas con otros modelos como son los matemáticos, pero con la desventaja de que, en muchas ocasiones, requieren de la modelo física para poder validar las hipótesis utilizadas en ella.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las necesidades de la Ingeniería en México tanto para el desarrollo como para la construcción de grandes obras, en este caso enfocadas a la Hidráulica, se ha visto siempre

apoyada por los Laboratorios; ya que ellos son los que en muchas ocasiones avalan los resultados de los estudios.

De tal forma, que han ayudado a que la Ingeniería Civil Mexicana en este campo sea reconocida a nivel mundial.

En todo diseño de grandes obras siempre existen las hipótesis y simplificaciones para resolver el problema, ante esto generalmente es necesario realizar una comprobación física de tales suposiciones y esto se logra mediante la construcción de los proyectos a una escala reducida (modelos físicos) en los que se ensayan las diferentes condiciones en las que operará la obra.

En la construcción de las grandes presas en México la modelación física ha jugado un papel muy importante, ya que de casi todas ellas se han construido modelos para estudiar, principalmente el comportamiento de las obras de toma, de excedencias, cuando se han presentado daños y para validar las soluciones se recurre a los modelos como es el caso del ejemplo de los tanques amortiguadores, etc.

Con la modelación física lo que se pretende es verificar el funcionamiento, a una escala reducida, de la estructura diseñada y en caso de existir algún defecto corregirlo, y volverla a simular.

La ventaja de este tipo de revisiones es que las modificaciones y simulaciones que se lleven a cabo se realizan antes de la construcción de la misma y al ser a un tamaño reducido se pueden probar diferentes alternativas, que ayudaran a elegir la que garantice un mejor funcionamiento y seguridad de la obra.

Los Ingenieros Civiles que se dedican al proyecto de obras hidráulicas, a menudo recurren a los Laboratorios de Hidráulica, en el desarrollo del mismo, en sus etapas de diseño, construcción, operación, investigación, y en su caso un rediseño de la estructura.

Por ejemplo, en la de diseño, se verifica el funcionamiento de las estructuras hidráulicas en el modelo físico, y en la instrumentación de las estructuras en obra; en la de construcción, se representan en el modelo las modificaciones que la obra requiere para verificar si afecta o no el funcionamiento de la estructura; en la de operación, se participa en el mantenimiento de la instrumentación de las estructuras, y en las campañas de medición; en la de investigación, se determina el funcionamiento de la obra que se propone estudiar debido a algún mal funcionamiento que venga del diseño; en el rediseño, se estudia la solución de nuevos problemas que se presentan cuando la obra está en operación.

De ahí la importancia de la participación de los Laboratorios en este tipo de proyectos, ya que éstos están para dar una respuesta oportuna y eficaz a las solicitudes de los proyectistas, y difundirlas a los alumnos que se interesan en el campo de la Hidráulica.

MODELOS FÍSICOS

La técnica de los modelos reducidos requiere que exista una semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

La semejanza geométrica implica que la relación entre cualquier dimensión del prototipo y la dimensión homóloga del modelo sea constante; la cinemática requiere que las líneas de corriente en prototipo y modelo describan una trayectoria similar y como consecuencia de ello la relación entre las velocidades y los tiempos en puntos homólogos del prototipo y modelo sean constantes; la dinámica ocurre, cuando la fuerza ejercida sobre cualquier partícula del flujo en el prototipo en relación con la fuerza ejercida sobre su homóloga en el modelo, es constante en todos los puntos

Si los movimientos de los fluidos en el prototipo y el modelo predomina un sólo tipo de fuerza, por ejemplo en los fluidos en superficie libre, la fuerza de gravedad, se equilibra con las de presión y de inercia, la similitud que hay que respetar es la de Froude.

La semejanza perfecta no se puede lograr debido a la presencia de otras fuerzas como es el caso, cuando el líquido presente cierta viscosidad, la similitud que hay que cumplir es la de Reynolds.

Muchas otras fuerzas pueden intervenir y cada vez se tendrá un invariante característico de similitud a respetar.

La experiencia mundial reconoce que el cumplimiento de Froude y de Reynolds tiene sólo un valor académico, cuando se analizan fenómenos de flujos con superficie libre y con un régimen turbulento, los cuales predominan ampliamente en la naturaleza.

En estos casos basta con escoger una escala adecuada para la construcción y operación de modelos con similitud de Froude, para obtener resultados transferibles a los de prototipo. Sin embargo pueden darse en la práctica casos aislados que se aparten de estas condiciones.

En estos casos, deben evaluarse cuidadosamente los efectos de escala al procesar los resultados de la investigación, o recurrir a otras técnicas de modelación avaladas por la práctica.

La práctica de los modelos conduce a realizar algunas simplificaciones, tal es el caso en el estudio de las obras de excedencias, como la porción de la naturaleza es muy pequeña el modelo puede realizarse a una escala suficiente grande sin que, por ello, se ocasionen costos enormes.

Se respeta la similitud de Froude, quedando automáticamente satisfecha la de Reynolds por la escala adoptada; en estos casos, las pérdidas de carga son relativamente pequeñas y es posible a menudo dejar los ajuste de las rugosidades; sin embargo para cada problema en particular, ellas deben de examinarse con atención y no se pueden dictar reglas absolutas e inmutables.

Entre los problemas que pueden resolverse en un laboratorio de hidráulica están, entre otros, por sólo enumerar algunos de ellos, relacionados con las presas:

- Definición geométrica-hidráulica de las obras de excedencia, obras de control, obras de toma y presas de derivación.
- Obtención de los coeficientes de gastos de las estructuras indicadas en el inciso anterior.

- Dimensionamiento y funcionamiento de las estructuras terminales, como son los tanques amortiguadores y cubetas deflectoras de lanzamiento.
- Evaluación de presiones en compuertas, cimacios, lumbreras, curvas verticales, etc.
- Vibración de compuertas
- Cavitación en estructuras sujetas a escurrimientos de alta velocidad.
- Vibración o cavitación en bombas y turbinas.
- Estudio de las corrosiones locales aguas abajo de estructuras
- Calibración de dispositivos para medición de caudales.

LAS ETAPAS DE MODELACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA

Como se mencionó al principio de este escrito, el proyecto de un conjunto de obras que forman una presa, algunas de ellas llegan al laboratorio para ser estudiadas, de tal forma que se va desarrollando un trabajo en conjunto con todo el equipo que hay tras de estas grandes obras.

Las etapas en las que va participando el laboratorio son: estudios, diseño, operación y en su caso el rediseño de alguna determinada obra.

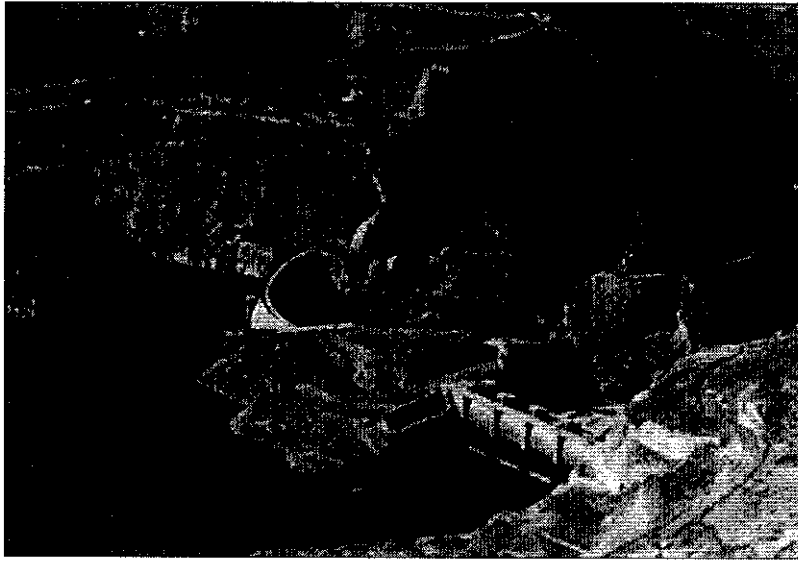
A continuación se describen y presentan algunos ejemplos de las diferentes etapas en las que participan los laboratorios.

ESTUDIO

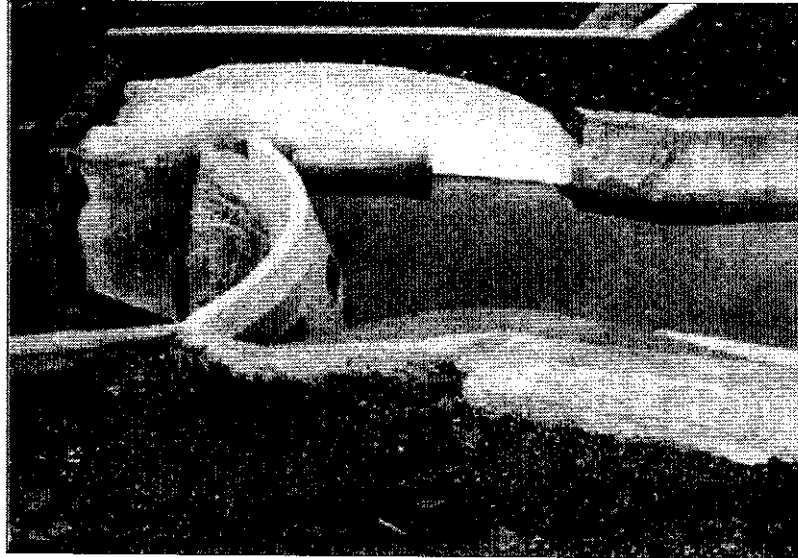
En esta etapa se verifica el funcionamiento de las estructuras hidráulicas en el modelo físico, y su instrumentación en obra. A partir del diseño en planos que se entregan, se pasa a construir un modelo físico con cierta escala. Una vez establecida la similitud, se presentan varios problemas para realizar un modelo.

La solución de los mismos pertenece al campo de la técnica de los modelos reducidos, como es el caso de la determinación de los límites del modelo, las condiciones de frontera, la selección del valor de la escala y la calibración del modelo.

Para ello se muestran algunas fotos de los prototipos y los modelos a escala que se construyeron en diversos laboratorios del país. De tal forma que el análisis del problema no sólo se lleva a cabo en un sólo sitio, si no en varias áreas de trabajo.



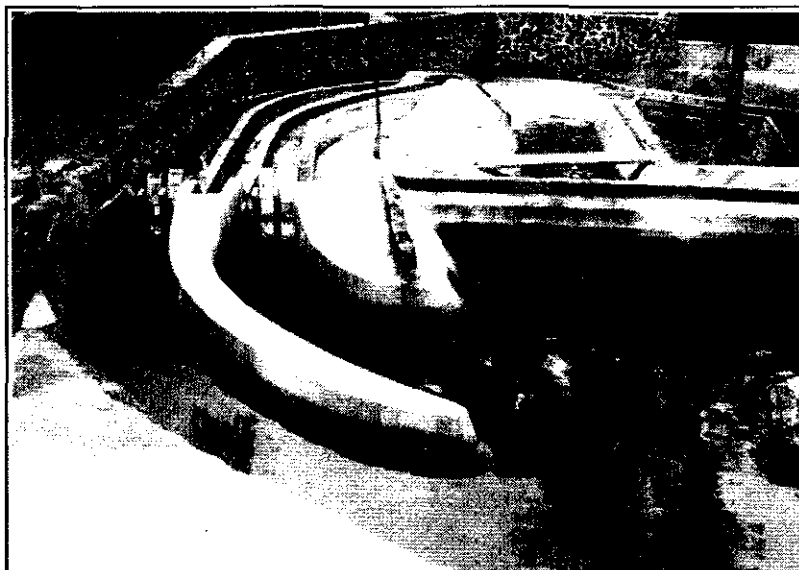
Presa Santa Rosa, Jal.



Modelo físico de la obra de excedencias de la Presa Santa Rosa, Jal.
Construido en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.



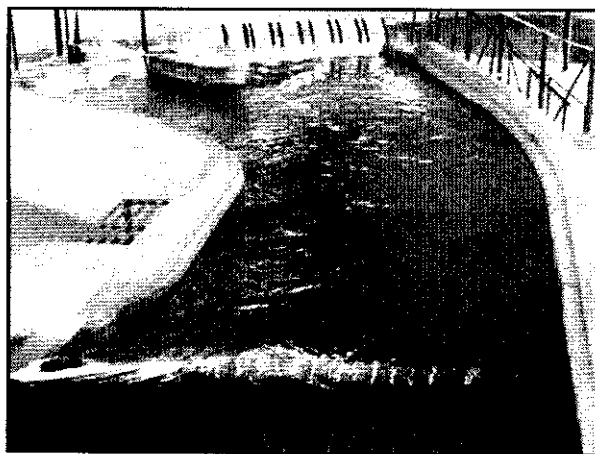
Presa La Angostura, Chis.



Modelo físico de la obra de excedencias de la Presa La Angostura, Chis.
Construido en el Instituto de Ingeniería, UNAM



Proyecto Hidroeléctrico La Parota, Gro.



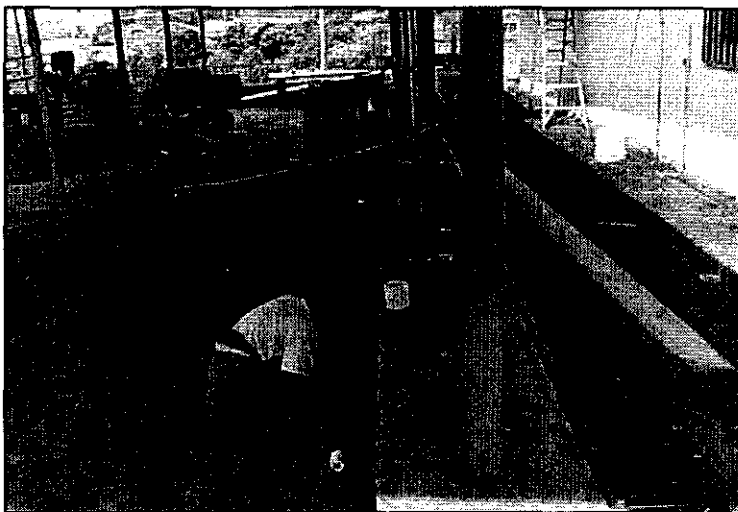
Modelo físico de la obra de excedencias de la presa La Parota, Gro.
Construido en el laboratorio de Comisión Federal de Electricidad

CONSTRUCCIÓN

Durante la etapa de la construcción, se representan en el modelo las modificaciones que la obra requiere para verificar si afecta o nó el funcionamiento de la estructura. A partir de los planos y ya construido el modelo físico se comienzan hacer ensayos con para ver si no requiere de modificaciones el proyecto debido algún mal funcionamiento que se vea en el diseño de alguna de las partes que como en dicha obra, como puede ser en el vertedor, en la obra de toma, en el funcionamiento de las compuertas. Se pone a prueba la obra que ya para estas fechas está

comenzando la construcción y que en muchas ocasiones es necesario ir trabajando conforme el avance de la obra.

A continuación se presentan ejemplos de lo mencionado.



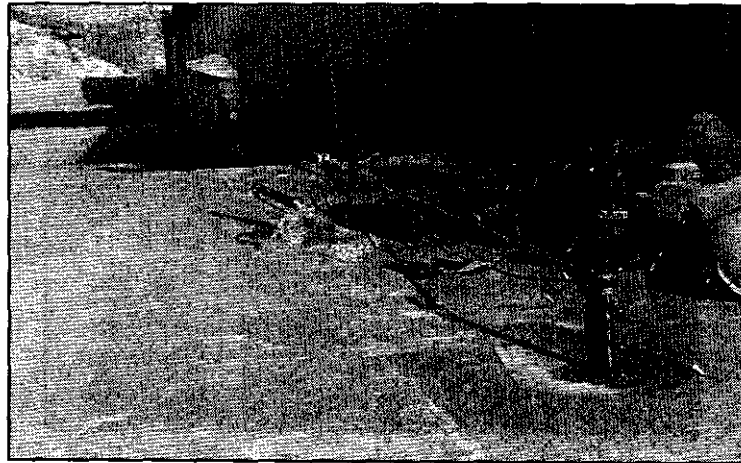
Construcción del modelo físico de la P. H. La Parota, Gro.
Construcción en el laboratorio de Comisión Federal de Electricidad.



Construcción de la C. H. Malpaso, Chis.
Construido en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad.

OPERACIÓN

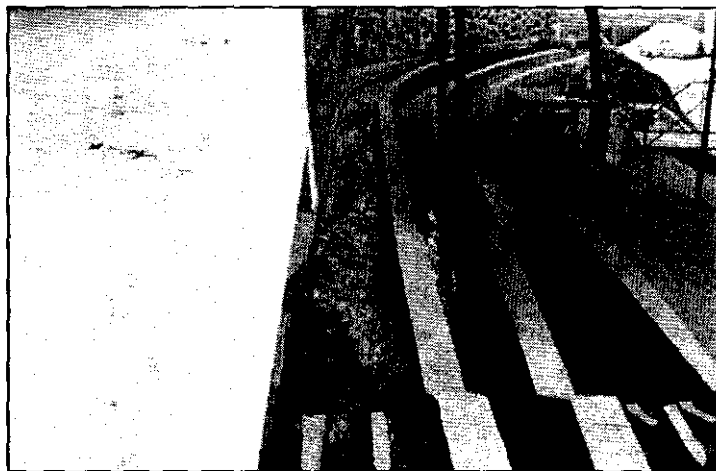
Durante la construcción de estas obras se participa en el mantenimiento de la instrumentación de las estructuras, y en las campañas de medición. Para ello antes de toda instalación se han probado diferentes posibilidades en el modelo físico para llegar a una óptima que sea la que se lleve a cabo en campo. Este tipo de participación ya no es sólo en el laboratorio, si no es directo con la construcción y enfrentando problemas de la realidad a los cuales se les da la mejor solución. Para ello se muestran algunos ejemplos en los cuales el personal del laboratorio llega a participar en dicha instrumentación.



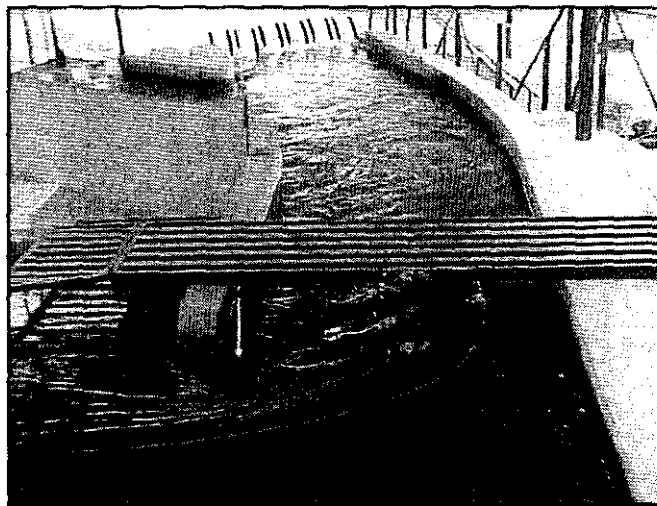
Instrumentación de la obra de excedencias de la Presa Aguamilpa, Nay.

OPERACIÓN

Durante la operación puede suceder que se presente un mal funcionamiento de alguna obra, de tal forma que en el modelo físico se propone estudiar ese problema para poder llegar una solución que sea factible en la modificación del diseño original de ella, como a continuación se muestra.



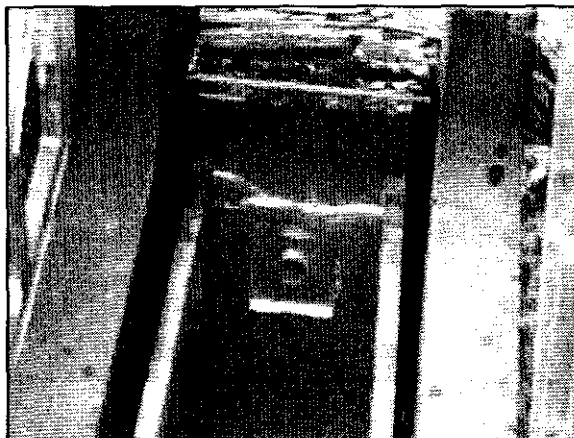
Estudio en el modelo físico del funcionamiento de los canales de la obra de excedencias de la Presa La Angostura, Chis. El modelo se encuentra en el Instituto de Ingeniería de la UNAM



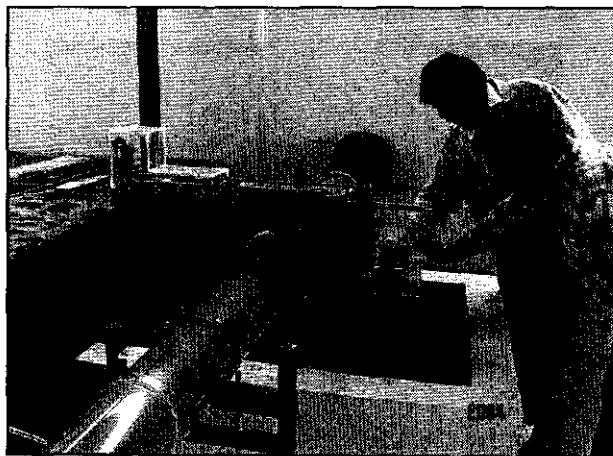
Estudio de la entrada del canal de llamada de la obra de excedencias del Proyecto de la presa La Parota, Gro.
El modelo físico está construido en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad.

INVESTIGACIÓN

En esta etapa se observa el buen o mal funcionamiento hidráulico de la obra que se propone estudiar lo cual puede tener su origen en el diseño o bien en muchos de los casos se presentan fenómenos que no se tienen contemplados que pudieran producirse. Durante este periodo, los laboratorios hacen lo que más les gusta, investigar nuevas formas o bien soluciones a fenómenos que en la mayoría de las ocasiones son difíciles de simular en un modelo matemático. Es por ello que los modelos físicos son un complemento de los numéricos, los cuales se alimentan de los resultados obtenidos directamente en el modelo físico.



Formación de vórtices ocasionando por las políticas de operación de la apertura de las compuertas en el modelo físico de la presa La Angostura, Chis.
El modelo se encuentra en el Instituto de Ingeniería de la UNAM



Funcionamiento de la trampa de desprendimientos del túnel de generación en modelo físico de uno de los túneles de la C. H. Zimapán, Hid.
El modelo se encuentra en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad.

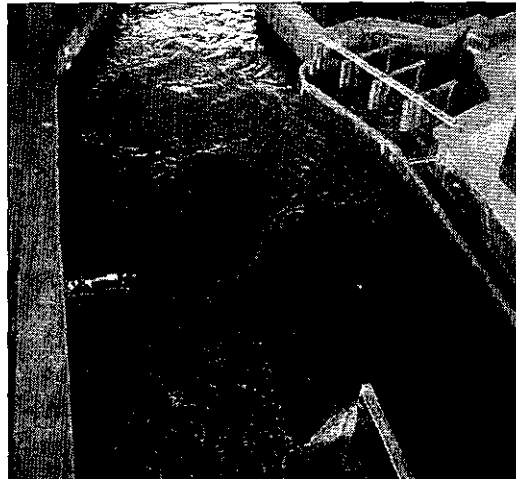
REDISEÑO

Se estudia la solución de nuevos problemas que se presentan cuando la obra está en operación. En algunas ocasiones surgen problemas que no se tenían contemplados en el proyecto o bien con los años es necesario realizar algunas modificaciones al proyecto para que pueda continuar trabajando, por ejemplo de la sedimentación que se presenta en algunos vasos de almacenamiento de presas.



PROBLEMAS DE SEDIMENTACIÓN EN LA CAPTACIÓN ATEMAJAC

- Modificar la captación actual, para conducir el agua a la planta sin sedimentos
- Verificar su funcionamiento en modelo hidráulico



Modelo que se encuentra en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad.

CONCLUSIONES

La utilización de técnicas especiales de modelación matemática, se ha logrado gracias a los Laboratorios de Hidráulica por la calibración de ello realizada con la física, sustituyéndola ventajosamente cuando se pueden establecer las leyes físicas que la rigen, pero todo parece indicar que esta última continuará prevaleciendo aún por mucho tiempo, aunque la tendencia actual se encamina, por lo costoso que son los modelos físicos, a perfeccionar los modelos matemáticos para que se considere el estado tridimensional, pero a pesar de esto debería seguir prevaleciendo el físico.

REFERENCIAS

- ◆ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
- ◆ Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ingeniería.
- ◆ Universidad de Guanajuato, Laboratorio de Hidráulica.
- ◆ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura.
- ◆ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Laboratorio de Hidráulica David Hernández Hueramo.
- ◆ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- ◆ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería.
- ◆ Comisión Federal de Electricidad, Laboratorio de Hidráulica.
- ◆ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Laboratorio Enzo Levi.
- ◆ Instituto Mexicano del Transporte, Laboratorio de Ingeniería de Puertos y Costas.

○

○

○

○

*Las Presas
y el Hombre*

**Docencia, investigación
y desarrollo tecnológico en México**

○

○

○

○

DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

La generación de conocimiento en el sector hídrico se origina en la producción científica y tecnológica, la acumulación y transmisión de dicho conocimiento ha sido fundamental para la formación de los técnicos e investigadores que han concebido, diseñado y construido la inmensa e impresionante infraestructura hidráulica existente a nivel mundial. México no es ajeno a este beneficio social y gracias a la capacidad de sus ingenieros cuenta, entre su infraestructura hidráulica, con más de 4,800 presas a lo largo y ancho de su territorio. Esta infraestructura le permite almacenar más de 180,000 millones de metros cúbicos de agua, recurso que es utilizado para fines de riego, generación de energía eléctrica y dotación de agua para las zonas urbanas, entre otros usos, beneficiando directa o indirectamente a los más de cien millones de habitantes con que cuenta actualmente el país.

Lo anterior es una muestra palpable de que la ingeniería hidráulica es parte del motor del desarrollo de los pueblos y por consecuencia es un indicador del compromiso que dicho campo de la ingeniería tiene con la sociedad. No obstante, el día de hoy debemos de reconocer que el desarrollo y el crecimiento de la infraestructura hidráulica nacional se ha reducido en las últimas décadas, esto en detrimento del propio desarrollo del país y de la calidad de vida de su población. Al respecto no solamente se ha frenado la construcción de grandes obras sino que se han disminuido las inversiones en lo que se refiere a la rehabilitación y la conservación de las ya existentes. De esta manera un buen porcentaje de las presas ya han alcanzado su vida útil y en consecuencia, debido principalmente a la acumulación de azolve, su capacidad de almacenamiento se encuentra mermada; simultáneamente y por efecto del envejecimiento y el deterioro físico-químico de los materiales que la conforman, así como a los asentamientos naturales y a las deformaciones locales derivadas de los eventos sísmicos, entre otros factores, su resistencia estructural se encuentra afectada poniendo en riesgo su seguridad. Para atender esta problemática, en algunos casos es necesario sobreelevar las cortinas o extraer los azolves para restituir parcial o totalmente la capacidad de almacenamiento que han perdido y en otros se requiere su rehabilitación y reforzamiento para incrementar su seguridad estructural. Como medida complementaria para incrementar su vida útil se debe fomentar la reforestación en las cuencas de captación para reducir la erosión y consecuentemente la acumulación de azolve en los vasos de almacenamiento.

También debemos ser conscientes de que la mayoría de las presas con que cuenta el país se diseñaron con base en información y estudios hidrológicos poco confiables y obsoletos, por lo que es necesario hacer una revisión de las avenidas de diseño con el fin de contrastarla con su capacidad de regulación en el vaso y de descarga a través de las obras de excedencia. La experiencia indica que al realizar el redimensionamiento de las estructuras de excedencia, para las avenidas de diseño calculadas con técnicas más precisas, las existentes son insuficientes. Este es un problema muy serio ya que es la principal causa de fallas de presas a nivel mundial. Para atender esta problemática se requiere complementar el redimensionamiento teórico con la modelación física de su funcionamiento hidráulico en los laboratorios de hidráulica.

Si bien las presas de almacenamiento se encuentran entre las obras de ingeniería más grandes y espectaculares que el hombre ha construido, no hay que perder de vista que la problemática asociada con el impacto ambiental y social que producen, en comparación con los beneficios derivados de las mismas, es un tema sumamente complejo que requiere de una atención especial y de la integración de grupos interdisciplinarios que al sumar y multiplicar sus capacidades

encuentren las soluciones y los satisfactores que permitan continuar con su aprovechamiento y justificar su construcción dentro de un esquema que garantice el desarrollo sustentable de sus zonas de influencia. Al respecto se debe tomar en cuenta que las grandes presas, entre otros beneficios, fomentan la producción piscícola, el turismo, la agricultura, la generación de energía limpia, el suministro de agua potable, el desarrollo industrial, a la vez que permiten salvaguardar vidas y patrimonios al reducir las inundaciones a través del control de avenidas.

Por otro lado, el uso, manejo y la operación de dicha infraestructura no ha sido la más eficiente y consecuentemente los beneficios derivados de su aprovechamiento son menores a los que se obtienen en países tecnológicamente más avanzados. En este sentido se observan grandes retrasos tecnológicos en aspectos tan básicos como el control y la medición de las variables hídricas en las presas. Si bien es un tema prioritario para la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad aún son muy pocas las grandes presas que cuentan con sistemas automáticos para la medición, captura, transmisión y procesamiento de los caudales y volúmenes que ingresan, se almacenan y se extraen de sus vasos. Derivado de la falta de sistemas de medición continua y confiable se dificulta y complica la aplicación e implementación de las políticas de operación y asignación así como el suministro del recurso con base en la dotación volumétrica asociada con la demanda de sus usuarios. Lo anterior se magnifica en algunas presas en las que se ha cambiado su objetivo original, como en los casos en que fueron construidas con fines de riego y generación y que en la actualidad también se aprovechan para suministro de agua potable y con fines recreativos.

Debido a que recién se inicia una nueva etapa en la construcción de grandes presas en el país y dado que hay un fuerte impulso para la rehabilitación y actualización tecnológica de las ya existentes, es necesario que en las universidades y en los centros de especialización se capacite a las nuevas generaciones de profesionistas que heredarán y enfrentarán estos nuevos retos. Con estos nuevos talentos se deberán integrar grupos interdisciplinarios que tomen en cuenta los diversos usos del agua sin perder de vista las restricciones e impactos socio-ambientales. Estos grupos deberán ser capaces de generar conocimiento y desarrollar tecnología a través de la búsqueda de nuevas técnicas, herramientas y materiales para economizar y hacer más eficiente la construcción, la rehabilitación y la modernización de éstas magnas obras de la ingeniería hidráulica.

Sin lugar a dudas, la problemática asociada con el desarrollo sustentable de las presas es un reto para los docentes, los investigadores y los desarrolladores de tecnología de cualquier región; al respecto la comunidad científica y tecnológica de México es muy conciente y realiza esfuerzos concretos para atenderla. Al respecto y como muestra del trabajo que se realiza, a continuación se presentan cuatro ponencias que integran parte del conocimiento y de la experiencia de un destacado grupo de especialistas adscrito a diversas universidades e instituciones del país:

- La modelación física y la investigación experimental como soporte para el diseño, el funcionamiento y la seguridad de las grandes presas en México.
- Sistemas automáticos para la medición de caudales en las grandes presas de México
- La investigación y el desarrollo tecnológico de la geotecnia aplicados a presas.
- Aspectos de hidrología de presas: diseño y operación.

SISTEMAS AUTOMÁTICOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN LAS GRANDES PRESAS DE MÉXICO

*Ariosto Aguilar, Cecilia Millán,
Víctor Arroyo, Edmundo Pedroza,
Serge Tamari, Ricardo Alvarez,
Víctor Mejía, Alejandro López,
Jorge Antonio Argueta Spínola,
Reynaldo Rangel Espinosa*

RESUMEN

Actualmente en México se realiza una campaña de mejoramiento de la medición en obras de toma de grandes presas de almacenamiento y de generación de electricidad. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua está encargado de proponer las opciones de instrumentación. Se utilizaron medidores con sensores ultrasónicos los cuales se describen brevemente, tanto para conductos presurizados como para conductos abiertos. Los dispositivos para conductos presurizados miden la velocidad con sensores ultrasónicos de tiempo de tránsito y tienen sensores secos o sensores húmedos y diferentes arreglos de colocación, en función de las características físicas de las conducciones. Así mismo, los medidores para conductos abiertos presentan diversas opciones, con la diferencia de que utilizan sensores ultrasónicos de efecto doppler para medir la velocidad y ultrasónicos tipo sonar, para medir el nivel del agua. Se informa también sobre los diferentes arreglos de obras de toma para presas de almacenamiento y de generación de electricidad en donde se observa que no se diseñan considerando la medición.

Se recomienda cómo se instrumentarían cada una de las diferentes obras de toma y se finaliza con una propuesta de selección y configuración sistemática de los sensores ultrasónicos más adecuados para cada caso.

INTRODUCCIÓN

En el año de 1996 la Comisión Nacional del Agua, instancia rectora del manejo del agua en México, encargó al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), una revisión, evaluación y diagnóstico de la infraestructura y prácticas de aforo en algunas importantes presas del país (Patiño et al, 1996).

De este estudio se determinó que en la mayoría de los casos la medición podría mejorarse sustancialmente. Básicamente se presentaron los siguientes problemas:

- (a) precisión, ya que los métodos usados no tienen precisiones altas (molinete y curvas de calibración de válvulas y compuertas);
- (b) totalización, esto debido a que se aforaba a ciertas horas sin registrar los cambios de gasto fuera de este horario, por lo que los volúmenes acumulados podrían tener grandes errores; y
- (c) problemas de operación, ya que el presero colocaba aproximadamente el gasto solicitado y tenía que esperar varias horas, inclusive más de un día, para que los aforadores le dieran el gasto que estaba extrayendo y generalmente no era el solicitado.

En este contexto el IMTA, se ha enfocado a diseñar sistemas de telemedición acordes a las condiciones de cada presa. Los sistemas tienen varios componentes:

- (a) sensores,
- (b) cableado,
- (c) unidad electrónica,
- (e) modem,
- (f) alimentación de energía y
- (d) página WEB. (Pedroza et al, 2003).

El presente trabajo se enfoca únicamente a la selección de los sensores más adecuados y a los detalles de su configuración. Actualmente se tienen 70 diseños de sistemas de telemedición en igual número de presas de la Comisión Nacional del Agua, de los cuales trece se instalaron en el año 2003 y 17 diseños de instalación de medidores en Centrales Hidroeléctricas de la Comisión Federal del Electricidad, en donde se ha instrumentado una Central en el 2005 (Millán *et al.* 2005).

GENERALIDADES SOBRE LAS OBRAS DE TOMA

Las obras de toma en presas son pasajes o conductos a través de los cuales se extrae agua, de acuerdo con una ley determinada, sus principales componentes son: estructura de entrada, conductos, mecanismos de regulación y emergencia, equipos de operación y dispositivos para disipación de energía.

Por su disposición las obras de toma pueden clasificarse en (Torres, 1987):

- (a) obras de toma con tubería a presión a través de cortinas de concreto, figura 1;
- (b) obra de toma con tiro vertical túnel a presión y tubería expuesta en túnel, figura 2 y
- (c) obra de toma con tiro vertical, túnel a presión, galería vertical para compuertas deslizantes y conducto abierto en túnel, figura 3.

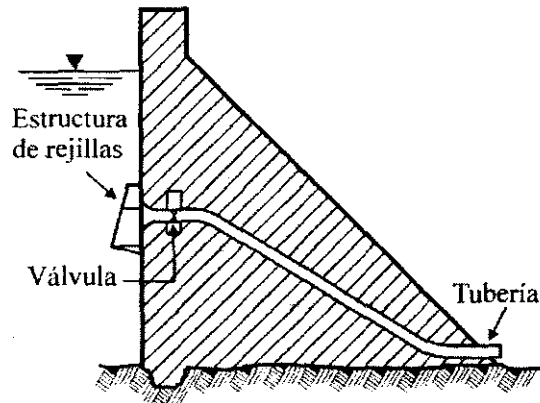


Figura 1.
Obra de toma con tubería a presión a través de cortina de concreto

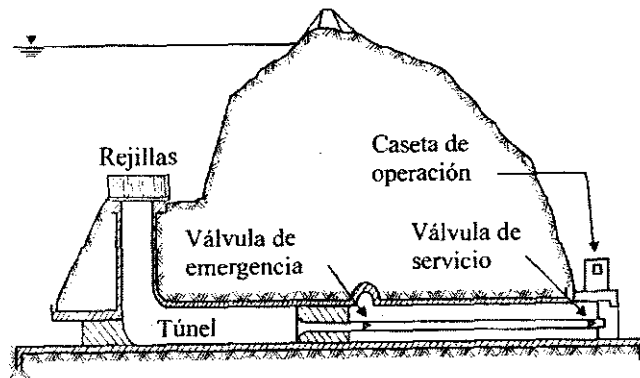


Figura 2.
Obra de toma con tiro vertical, túnel a presión y tubería expuesta en túnel

Otro tipo de obras de toma, más específica para plantas de generación, tienen la función principal de permitir y controlar la extracción de agua de una presa, en la cantidad y momento en que se requiera conducirla a la planta hidroeléctrica. Los elementos indispensables de este tipo de obras de toma deben diseñarse de tal manera que cumplan las siguientes funciones (Lozoya, 1983): (a) Regular y conducir el gasto necesario en la casa de máquinas a fin de satisfacer las demandas de energía eléctrica; (b) Asegurar, con pequeñas pérdidas de energía, el gasto en la conducción para un intervalo predeterminado de niveles del embalse; (c) Evitar la entrada de basuras, escombros u otros materiales flotantes a la conducción, que puedan dañar las turbinas o los elementos de cierre; (d) Prevenir, o al menos reducir, el azolvamiento de la conducción, fundamentalmente cuando esta es a superficie libre.

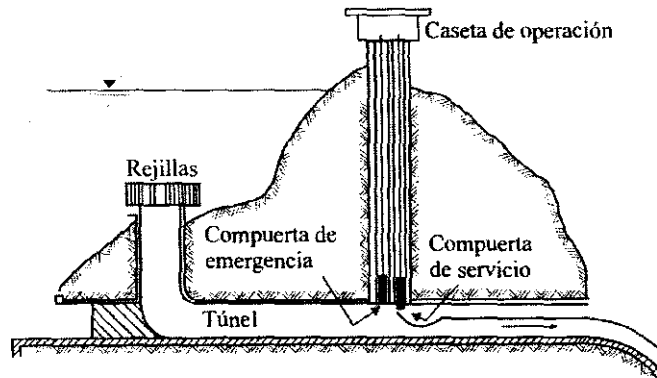


Figura 3.
Obra de toma con tiro vertical, túnel a presión,
galería vertical para compuertas deslizantes y conducto abierto en túnel.

De acuerdo con la disposición general, se pueden diferenciar dos tipos de obras de toma: obra de toma con galería a presión, figura 4 y obra de toma con tubería parcialmente embebida en la cortina, figura 5. Las gráficas siguientes muestran las partes más importantes, que en general, son: estructura colectora; tubería a presión y casa de máquinas. Además, la toma de galería a presión tiene la galería a presión, propiamente dicha y una cámara de oscilación.

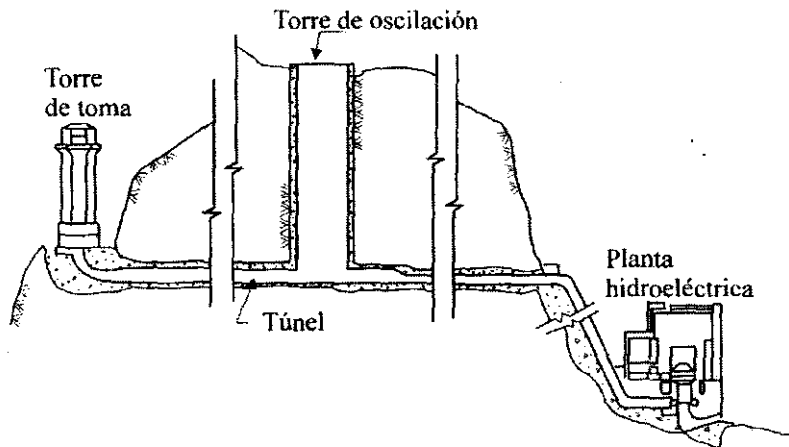


Figura 4.
Obra de toma con galería a presión.

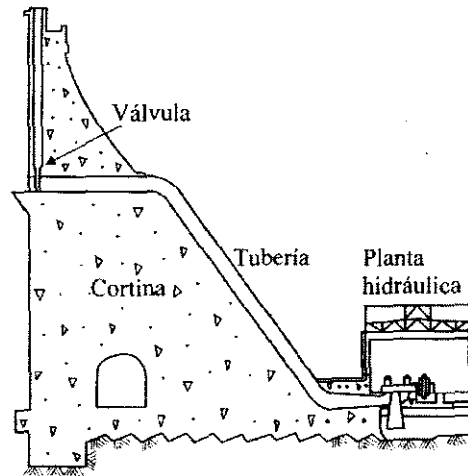


Figura 5.
Obra de toma con tubería parcialmente embebida en la cortina.

PROBLEMÁTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MEDICIÓN

Como se puede apreciar en las figuras de las diferentes obras de toma, y en sus funciones y componentes, no se contempla una parte específica dedicada a la medición de agua. Aunque se menciona que las principales funciones de las obras de toma se relacionan con el control de la extracción, se deja la acción de medir (para controlar) a elementos ajenos y posteriores a la construcción de la presa y su obra de toma.

El hecho de no diseñar alguna parte de la obra de toma para medición redonda, obviamente, en que la medición se hará en condiciones desfavorables adaptadas a las condiciones finales de la presa ya construida.

Para mejorar la medición es recomendable medir en alguna parte de la obra de toma en lugar de hacerlo aguas abajo; dos son las razones básicas: generalmente, aguas abajo de la obra de toma, los cauces se encuentran en condiciones naturales muy parecidas, o iguales, a las que tenían antes de la construcción de la presa; ello hace que no se cumplan los requisitos básicos de cualquier sección de aforo como se define en la ISO 748:1977, ISO/TR 12765: 1998 e IEC 60041:1991.

En la práctica uno de los inconvenientes lo representa el diseño de la obra de toma ya que en muchos casos no presenta sitios adecuados de colocación y en algunos casos son completamente inexistentes (ver por ejemplo figura 6, donde la tubería está completamente embebida en concreto). Afortunadamente, la tecnología de medición actual presenta bastantes alternativas que se adaptan a la mayoría de las condiciones.

En la experiencia de la instrumentación de las presas en México (Pedroza *et al.*, 2003; Arroyo *et al.*, 2004; Millán *et al.*, 2004 y Millán *et al.*, 2005) se han tenido en lo general tres tipos de instrumentación típicos, que son:

- Obra de toma con conducto a presión sin acceso al exterior del tubo.
- Obra de toma con conducto a presión y acceso al exterior del tubo.
- Obra de toma con conducto abierto.

La confianza en los resultados de la medición del flujo se determinan siguiendo las recomendaciones indicadas tanto en los catálogos de los fabricantes y las normas ISO 748:1997, ISO/TR 12765:1998 e IEC 60041:1991.

MEDIDORES ULTRASÓNICOS PARA CONDUCTOS PRESURIZADOS.

ANTECEDENTES Y TEORÍA

En la actualidad, se utilizan comúnmente los sensores ultrasónicos ("UFM") de tiempo de travesía para monitorcar el gasto en tuberías o en canales (Lynnworth, 1989; ISO/TR 12765:1998).

Para este fin, se colocan uno o varios pares de sensores; para tuberías o canales de gran tamaño, cada par de sensores se coloca generalmente según un arreglo tipo "Z".

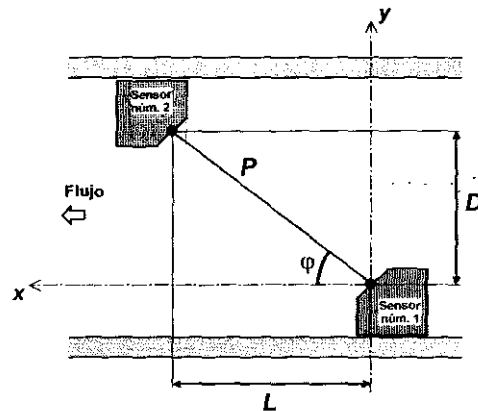


Figura 6.
Par de sensores ultrasónicos colocados en una tubería o en un canal.

Los sensores son de tipo "tiempo de travesía" e "intrusivos". El arreglo es de tipo "Z" (o sea, cada sensor se encuentra a un lado de la tubería). La distancia entre los sensores (L) se define conociendo D (diámetro de la tubería o ancho del canal) y φ (ángulo de inclinación de los sensores).

Para realizar una medición, cada sensor envía una señal ultrasónica al otro, y se mide electrónicamente el tiempo que tarda el sonido para llegar al sensor aguas abajo (t_2) o al sensor aguas arriba (t_1). La velocidad de propagación del sonido en el fluido en movimiento (c) es:

$$c = c_0 \pm \bar{v} \cos(\varphi)$$

donde \bar{v} es la velocidad promedio del agua. Los tiempos de travesía para las señales ultrasónicas que se propagan hacia el sensor aguas abajo (t_2) o hacia el sensor aguas arriba (t_1) son:

$$t_1 = \frac{P}{c_0 - \bar{v} \cos(\varphi)}$$

$$t_2 = \frac{P}{c_0 + \bar{v} \cos(\varphi)}$$

entonces:

$$\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} = \frac{2\bar{v} \cos(\varphi)}{P} = \frac{2\bar{v}L}{P^2}$$

Se deduce una ecuación teórica clásica que es el fundamento de los sensores ultrasónicos de tiempo de travesía (Lynnworth, 1989; ISO 1998):

$$\bar{v} = \frac{P^2 \Delta t}{2L t_1 t_2} \quad \text{con:} \quad \Delta t = t_1 - t_2 \quad (1)$$

donde Δt se conoce como la "diferencia de tiempo de travesía". Al respecto, es importante hacer dos comentarios:

- Como se puede apreciar, un par de UFM no mide el gasto del agua en una tubería (Q), sino la velocidad promedio del agua (v) sobre la distancia entre los sensores (P). En la práctica, se deduce el gasto (Q , en m^3/s) multiplicando la velocidad promedio del agua (v , en m/s) por el área del tubo (A , en m^2) y por un factor de corrección (k_H). El factor k_H depende del perfil de velocidad del agua en la tubería (v_x); teóricamente, el factor sería igual a 1 solamente si el perfil fuera uniforme. Pero esta situación no ocurre en la práctica (p.e., Mattingly & Yeh, 2000; Fyrippi *et al.*, 2004). La norma ISO/TR 12765 (1998) propone valores para el factor k_H , suponiendo que el perfil de velocidad del agua en la tubería (V_x) es "parabólico" (cuando el régimen de flujo es laminar) o "potencial" (cuando el flujo es turbulento).

- La ecuación clásica para los sensores ultrasónicos de tiempo de travesía supone que el sonido se propaga desde un sensor hacia el otro sin ser desviado por el agua que fluye en la tubería (o por otro fenómeno). En la práctica, esta hipótesis es cierta siempre y cuando el flujo del agua no sea demasiado grande (Lynnworth, 1989). Actualmente se está investigando el efecto de esta hipótesis en la realización de mediciones más precisas con los UFM (Moore *et al.*, 2000; Temperley, 2002).

TIPOS DE SENSORES DE TIEMPO DE TRAVESÍA

Para seleccionar el tipo de sensores de un medidor y su configuración, se debe atender lo siguiente:

- (a) tipo de sensores;
- (b) arreglo de colocación;
- (c) longitud de los tramos rectos aguas arriba y aguas abajo del sitio de colocación de los medidores y
- (d) posibilidad de vaciar la tubería.

Existen dos tipos de sensores los secos (*dry sensors*) y los húmedos (*wetted sensors*). Los sensores secos se colocan sobrepuestos en la tubería (*strap on*) con sujetadores soldados o bien con cinchos o abrazaderas. Los sensores húmedos se pueden colocar desde el exterior de la tubería (de inserción) o dentro de la misma (intrusivos). El arreglo de colocación se refiere a la disposición de los sensores y la trayectoria de la señal ultrasónica. A saber los arreglos más comunes son en “Z” y “V”. La opción más recomendable, desde el punto de vista de la señal ultrasónica, son los sensores húmedos colocados en arreglo “Z”.

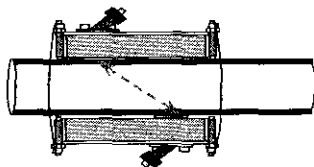


Figura 7. Sensores secos en arreglo “Z”

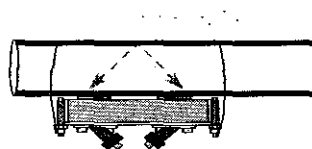


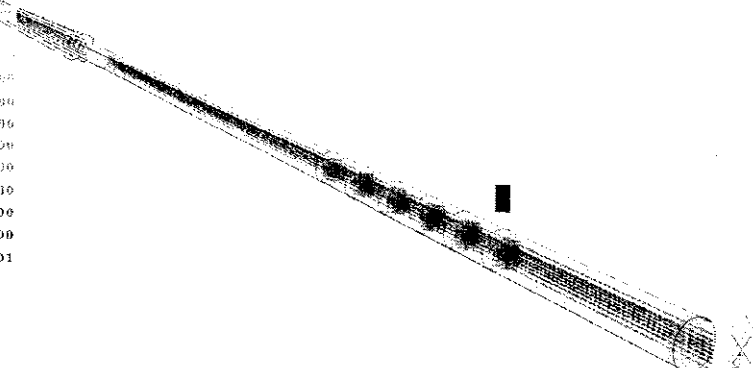
Figura 8. Sensores secos en arreglo “V”

En cuanto a la longitud de los tramos rectos aguas arriba y aguas abajo del sitio donde se coloquen los sensores, se debe cuidar que dichos tramos rectos sean mayores o por lo menos iguales que los requeridos en las especificaciones propias de cada marca de sensores. No obstante lo anterior, se ha reportado que pueden presentarse flujos secundarios que afectan la exactitud en la determinación de la velocidad media (Moore *et al.*, 2000). En estos casos se ha recurrido a la simulación numérica de la tubería para determinar el sitio más adecuado para ubicar los equipos de medición de tiempo de travesía (Moore *et al.*, 2000, Millan *et al.*, 2004).

En las figuras 9 y 10 se muestran los resultados de una simulación de flujo de las ecuaciones de esfuerzos de Reynolds, para la localización más adecuada en la instalación de un medidor de tiempo de travesía en la obra de toma de la Central Hidroeléctrica “Gral. Salvador Alvarado (Sanalona)”

Velocity
 6.182E+00
 5.821E+00
 5.460E+00
 5.100E+00
 4.740E+00
 4.380E+00
 4.020E+00
 3.660E+00
 3.300E+00
 2.940E+00
 2.580E+00
 2.220E+00
 1.860E+00
 1.500E+00
 1.140E+00
 7.77E-01

Probe value
 4.654E+00

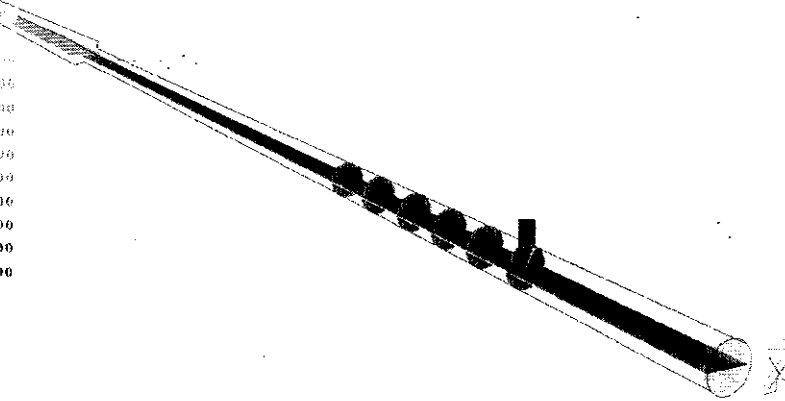


OT_Sanalona

Figura 9.
 Vectores de velocidad promedio en la sección de medición.

W1
 0.000E+00
 -4.121E-01
 -0.842E-01
 -1.263E-00
 -1.684E-00
 -2.105E-00
 -2.526E-00
 -2.947E-00
 -3.368E-00
 -3.789E-00
 -4.210E-00
 -4.631E-00
 -5.052E-00
 -5.473E-00
 -5.894E-00
 -6.315E-00

Probe value
 -5.909E+00
 Average value
 -4.951E+00



OT_Sanalona

Figura 10.
 Contornos de velocidad en la dirección Z, principal componente de la velocidad promedio.

MEDIDORES ULTRASÓNICOS PARA CONDUCTOS ABIERTOS.

A diferencia de los sensores usados para tuberías, que calculan el área hidráulica por medio del área de un círculo (el tubo), los medidores para conductos abiertos calculan el área hidráulica en función del área hidráulica y del nivel.

Es por ello que deben tener un sensor adicional para medir dicho nivel. Los medidores para conductos abiertos más utilizados en esta aplicación son los de sensores ultrasónicos de tiempo de travesía y ultrasónicos de efecto doppler (figura 11).

Los sensores ultrasónicos de efecto doppler estiman la velocidad del flujo en base a dicho fenómeno (efecto doppler) midiendo la diferencia entre la frecuencia de una señal ultrasónica enviada por un emisor y la frecuencia reflejada desde las partículas en movimiento del flujo (figura 12).

Actualmente se presentan dos versiones comerciales de medidores con sensores ultrasónicos de efecto doppler, uno que se coloca en el fondo del conducto (intrusivo) y otro que se coloca fuera del agua, encima de la superficie (extrusivo).

Los medidores ultrasónicos de tiempo de travesía para conductos a superficie libre estiman la velocidad por medio de pares de sensores que funcionan, al igual que los sensores para tuberías, midiendo la diferencia de frecuencia entre un emisor y un receptor, generada por el efecto del flujo. Por lo general se colocan dos pares de sensores.

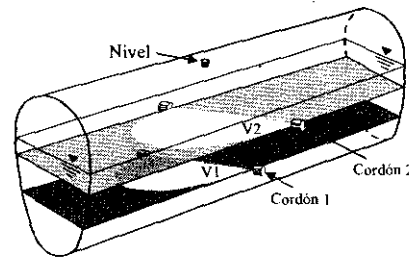


Figura 11.
Sensores ultrasónicos de tiempo de travesía y ultrasónico de nivel.

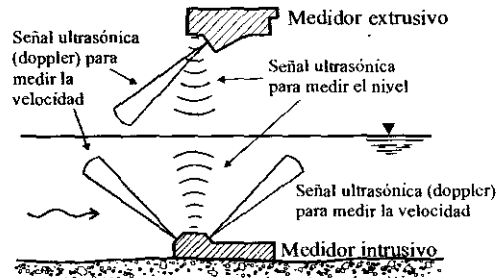


Figura 12.
Medidores de flujo con sensores ultrasónicos de efecto doppler y ultrasónicos de nivel.

PROPUESTA DE SISTEMATIZACIÓN

Es posible hacer una sistematización de la selección y configuración de los sensores, en función de cada una de las variantes propias, ya sea de las obras de toma o de los sensores. Se propone que se analice cada caso atendiendo únicamente a las condiciones del conducto sin importar el tipo de obra de toma en general. Para definir los sensores y su configuración, se comienza distinguiendo entre conducto presurizado o conducto abierto; posteriormente se atiende a los detalles tales como si el conducto está expuesto, en el caso de conducto presurizado, o si se tiene acceso a todo el perímetro de la tubería, o por el contrario si el conducto es abierto, se analizan detalles tales como la presencia de azolve o el arrastre de objetos.

CONCLUSIONES.

En México, las presas no se diseñaron con arreglos específicos para medir las extracciones en las obras de toma. Actualmente la oferta tecnológica es versátil y la mayoría de los arreglos de obras de toma se pueden instrumentar con relativa facilidad. Precisamente esta versatilidad hace que se tenga una gran variedad de opciones y que se deba analizar cada opción para definir la más adecuada a cada caso en particular. Con base en el trabajo realizado para diseñar sistemas de medición, se presentan recomendaciones para la selección y configuración de los medidores y sus sensores con objeto de tener una propuesta de instrumentación. Antes de proceder a su colocación es altamente recomendable que la solución final sea discutida con distribuidores y fabricantes ya que se pueden tener opciones más convenientes de reciente aparición. Es por ello que la propuesta de selección sistemática no debe ser tomada como definitiva sino como una especie de metodología que se puede modificar en función de los nuevos equipos y sus características más amplias, generalmente podrán medir mayores velocidades y profundidades, con mayor precisión.

BIBLIOGRAFÍA

Arroyo C.V., Aguilar C.A., Pedroza G.E., Millán B.C., Mejía A.V., Tamari S., López V.A. y Alvarez B.R. 2004. *Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas*. Informe final del Convenio de Colaboración CNA-IMTA-SGIH-OC-DF-04-DR-003-RF-CC.

Carlander C., Delsing J. 2000. Installation effects of an ultrasonic flow meter with implications for self diagnostics. *Flow Measurement and Instrumentation* 11: 109-122.

IEC 60041. 1991. Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines. International Electrotechnical Commission.

ISO 748. 1997. Measurement of liquid flow in open channels -Velocity area methods. International Organization for Standardization.

ISO/TR 12765. 1998. Measurement of fluid flow in closed conduits. Methods using transit-time ultrasonic flowmeters. *Technical Report ISO/TR 12765:1998(E)*, International Organization for Standardization.

Fyrippi I., Owen I., Escudier M. P. 2004. Flowmetering of non-Newtonian liquids. *Flow Measurement and Instrumentation* **15**: 131-138.

Lozoya C. J., Manual de diseño de obras civiles, Sección A: Hidrotécnica, Tema 2: Hidráulica, Capítulo 2: Obras de toma para plantas hidroeléctricas, Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 1983.

Lynnworth L. C. 1989. Ultrasonic measurements for process control: theory, techniques, applications. Academic Press, Boston (649 p.)

Mattingly G. E., Yeh T. T. 2000. NIST's ultrasonic technology assessment program to improve flow measurements. *NIST Technical Note 1429*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

Millán B.C., Aguilar C.A., Arroyo C.V., Gómez L.L., López V. A., Mejía A. V., Pedroza G.E., Alvarez B.R. y Tamari S. 2004. Medición de gastos turbinados en Centrales Hidroeléctricas mayores de la CFE. Informe final del Convenio de Colaboración CFE-IMTA-SG-CGH-01/04.

Millán B.C., Mejía A.V., López V.A., Aguilar C.A., Tamari S. 2005. *Medición del gasto turbinado en la central hidroeléctrica Gral. Salvador Alvarado (Sanalona)*. Informe final del Convenio de Colaboración CFE-IMTA-SG-CGH-02/05.

Moore P. I., Brown G. J., Stimpson B. P. 2000. Modelling of transit time ultrasonic flowmeters in theoretical asymmetric flow. *Measurement Science and Technology* **11**: 1802-1811.

Patiño G. C., Pedroza G. E., Morales P.H., García V. N., Martínez A. P. Y Guzmán R.R. 1996. Revisión, evaluación y diagnóstico técnico de la infraestructura y prácticas de aforo en las obras de toma de 10 de las principales presas de riego del estado de Sinaloa, Informe interno, IMTA, México.

Pedroza G. E., Aguilar C. A., Arroyo C. V M., Bonola A. I., Gómez L. L., López V. A., Mejía A. V G., Millán B. C., Salgado M. G. 2003 *Brindar servicio tecnológico especializado para mejorar la medición en obras de toma de presas de almacenamiento a las Gerencias Regionales Noroeste, Cuencas Centrales, y Lerma Santiago Pacífico, así como pozos de riego de la Gerencia Regional Noroeste*, Informe final del Convenio de Colaboración CNA-IMTA-SGIH-0C-DF-03-DR-006-RF-CC.

Pedroza G. E., Patiño G. C., García V. N. H. 1997. *Medición automatizada de los caudales y volúmenes derivados de 20 presas del noroeste del país*, Informe final del proyecto CNA-IMTA, HC-9714.

Temperley N. C. 2002. Optimisation of an ultrasonic flow meter based on experimental and numerical investigation of flow and ultrasound propagation. *PhD Thesis*, University of New South Wales, Australia.

Torres H. F. 1997. *Obras hidráulicas*, Editorial Limusa, México.

Vega R. O., Arreguín C. F. 1992. *Presas de almacenamiento y derivación*, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM México.

LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA GEOTECNIA APLICADOS A PRESAS

Dr. Raúl Flores Berrones

Dr. Miguel P. Romo

INTRODUCCIÓN

Las presas son, sin duda, unas de las obras de ingeniería civil que mayores beneficios han dado a la humanidad, ya que están íntimamente relacionadas, además del suministro de agua a poblaciones, industrias y zonas agropecuarias, al control de inundaciones, generación de energía eléctrica y recreación. Por otro lado, estas obras representan una amenaza potencial cuando no han sido diseñadas, construidas u operadas adecuadamente, ya que una falla de ellas puede causar grandes pérdidas humanas y económicas, así como un deterioro importante al medio ambiente.

Para el diseño y construcción de estas importantes obras, deben coordinarse varias disciplinas de la ingeniería civil, entre las cuales destacan la hidráulica, la hidrología, la ingeniería estructural y la geotecnia.

El presente trabajo se referirá al papel que la geotecnia desempeña, desde el inicio, para seleccionar los sitios donde se construirá la cortina, hasta su construcción, puesta en marcha y mantenimiento para que funcione de manera adecuada la presa, principalmente desde el punto de vista de su cimentación, estabilidad de taludes y la filtración del agua a través del cuerpo de la cortina o su cimentación. Se indican, también, los análisis que deben hacerse para conocer la sección más adecuada de la cortina, enfatizando las innovaciones y las investigaciones que en materia de geotecnia se han efectuado, en especial en México, así como aquellas recientes que se han venido aplicando en los últimos veinte años.

ANTECEDENTES

La ingeniería de presas y la mecánica de suelos son dos disciplinas que desde aproximadamente 1955 ha dado a la ingeniería mexicana un gran prestigio internacional, particularmente a partir de los años treinta del siglo pasado, cuando se estableció el Departamento de Ingeniería Experimental, localizado primero en San Jacinto, D. F. y, luego, en Tecamachalco, Estado de México. De hecho, la geotecnia en México se desarrolló a partir del establecimiento del mencionado departamento. Por él pasaron figuras de la talla de Nabor Carrillo, Fernando Hiriart, Raúl J. Marsal, Leonardo Zeevaert y Enrique Tamez, por señalar algunos de nuestros ilustres ingenieros geotecnistas.

En materia de investigación y desarrollo tecnológico, también en ese departamento se llevaron a cabo experimentos e investigaciones teóricas que fueron base para diseñar y construir muchas de las presas que hoy en día, después de cincuenta años, siguen funcionando correctamente. A través de varias publicaciones emanadas de los resultados de estos trabajos experimentales e investigaciones, se difundió su novedad en todo el mundo.

Posteriormente y en paralelo a los trabajos experimentales que se hacían en Tecamachalco, se fundó el Instituto de Ingeniería en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM), en la capital del país, donde se llevaron a cabo varias investigaciones innovadoras, como la cámara triaxial y la de deformación plana que diseñó Raúl J. Marsal para el análisis de los enrocamientos de grandes presas, que sirvieron para construir presas con múltiples fines: distribución de agua para zonas de riego, producción de energía eléctrica, control de inundaciones, etcétera. Fue la época en que se construyeron presas como Malpaso, Infiernillo, Cerro de Oro, La Villita, Chicoasén, La Angostura y otras más, no menos importantes. Para evaluar el comportamiento de estas obras se recurrió a investigaciones teóricas con el método del elemento finito (México fue pionero a nivel mundial en el uso de esta herramienta numérica) acopladas con el monitoreo de las presas en condiciones de carga sostenida y durante la acción de eventos sísmicos. En estos aspectos México también ha sido pionero a nivel internacional.

Desde hace también varios años la Comisión Federal de Electricidad (CFE) creó sus propios laboratorios de mecánica de suelos y de rocas, y en ellos se han desarrollado importantes investigaciones para el diseño y construcción de varias presas para la producción de energía eléctrica. Entre las presas más recientes se encuentran: Huites, Agua Milpa y Zimapán, y las que actualmente están en construcción o por iniciarse, como son El Cajón y La Parota. La concepción y construcción de estas grandes presas ha sido posible por el cúmulo creciente de conocimientos adquiridos a lo largo de varias décadas dedicadas a la investigación en el tema de ingeniería de presas.

A continuación se mencionan los aspectos más relevantes en materia de investigación y desarrollo tecnológico que la geotecnia tiene en relación con el diseño, construcción y mantenimiento de presas.

LA GEOTECNIA EN LOS ESTUDIOS PRELIMINARES

En la primera etapa del análisis de la construcción de una presa, los estudios geológicos desempeñan un papel fundamental para conocer la calidad y características de los materiales que constituyen cada una de las alternativas del sitio donde se deberá construir la cortina. Una de las actividades de mayor importancia de las investigaciones geológicas es la *cartografía geológica-geotécnica* de las diferentes obras que comprende una presa, ya que es la base para poder establecer la caracterización de la matriz rocosa, de las discontinuidades y del macizo rocoso.

En general, el procedimiento a seguir parte de una descripción general de los aspectos y características observables a simple vista, con base en los cuales se establecen distintas zonas más o menos homogéneas a partir de la litología, estructura tectónica, etc. Después, se describen y caracterizan con detalle los componentes de las diferentes zonas del macizo y sus propiedades, y al final, sobre los datos antes referidos, se realiza una clasificación geomecánica del macizo rocoso.

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en la actualidad son la *Rock Mass Classification* o RMR, definida por Bieniawski (1979); la *Q*, definida por Barton *et al.* (1974), y la *Surface Rock Classification* o SRC, definida por González de Vallejo (1998); todas ellas permiten obtener un índice de calidad y, con base en ellos, se proporcionan recomendaciones para evaluar propiedades mecánicas del macizo rocoso, estabilidad de excavaciones (y revestimientos si son requeridos), taludes, y capacidad de excavación en rocas.

Todas las clasificaciones, de alguna manera, toman en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el espaciado de las discontinuidades o RQD, las condiciones de las discontinuidades y la presencia de filtraciones; sin embargo, la clasificación SRC toma en cuenta, además, el estado tectónico y de tensión del macizo rocoso.

Por otro lado, el levantamiento detallado de las discontinuidades permite realizar el procesamiento de los datos de orientación e inclinación utilizando diagramas estereográficos. Mediante esta técnica es posible efectuar análisis cinemáticos para definir la estabilidad de bloques de roca e identificar posibles mecanismos de falla.

Inclusive, en los últimos años, el Dr. Goodman (1985) desarrolló la Teoría de Bloques, basada en un comportamiento de las discontinuidades y su análisis tridimensional para la identificación de "cuñas clave", que permiten anticipar y predecir la influencia estructural de las discontinuidades en las excavaciones subterráneas. Por medio de este análisis se definen las orientaciones óptimas de la excavación, para disminuir el riesgo de la formación de cuñas removibles o anticipar su posible formación.

Donde quizá se observen más avances tecnológicos de los estudios geotécnicos durante esta etapa preliminar, es en los estudios geofísicos que se utilizan para conocer las condiciones de los materiales del subsuelo. A continuación se mencionan los métodos y técnicas más aplicables al estudio de presas (Rosas, J.L. 2005):

Método	Técnicas
Eléctrico	<i>Sondeos eléctricos verticales</i>
	<i>Calicatas eléctricas</i>
	<i>Dipolo-dipolo</i>
Sísmico	<i>Sísmica de refracción</i>
	<i>Sísmica de reflexión</i>
Sísmico en sondeos	<i>Cross-hole</i>
	<i>Down-hole</i>
	<i>Up-hole</i>
	<i>Tomografía sísmica</i>
Electromagnético	<i>EM en dominio de frecuencias</i>
	<i>EM en dominio de tiempos</i>
	<i>Georradar</i>
Magnético	<i>Magnetometría</i>
Registros en pozos	<i>Eléctricos</i>
	<i>Nuclear o radiactiva</i>
	<i>Sónica</i>
	<i>Geométricos</i>

Finalmente, debe señalarse que también en esta etapa preliminar se investigan las propiedades de los materiales de los diferentes bancos de materiales cercanos a la obra, con los cuales se deberá construir la cortina y los demás elementos que constituyen la presa.

LA GEOTECNIA EN EL DISEÑO

Para definir el tipo y sección transversal de la cortina se debe hacer un gran número de pruebas geotécnicas de campo y laboratorio, las cuales determinarán información acerca de la resistencia al esfuerzo cortante, la compresibilidad y permeabilidad de los materiales térreos con los que se construirá el cuerpo de la cortina y su cimentación. En caso de que la presa se localice en una zona sísmica, se deberán obtener, adicionalmente, el módulo cortante dinámico y el amortiguamiento de estos materiales. En función de las características resultantes de dichos análisis, se definen los detalles de la cortina (tipo, inclinación de los taludes, espesores y características de los filtros, granulometrías de las zonas de transición, etcétera), así como el tipo de tratamiento en la cimentación de la cortina.

Como parte innovadora que puede señalarse en el diseño geotécnico de presas, están los tipos de materiales que en los años recientes se han venido utilizando para la construcción de la cortina, destacando el concreto rodillado, la utilización de la cara de concreto y núcleo de concreto asfáltico como elementos impermeables de la cortina. Igualmente, se tienen interesantes y prácticas innovaciones en la determinación de las propiedades estáticas y dinámicas de los suelos mediante pruebas de campo y laboratorio. Por ejemplo, para conocer en campo las características de resistencia y deformación de los suelos, en los últimos treinta años se ha intensificado el uso del cono eléctrico, los presiómetros y los diversos procedimientos geofísicos para medir la velocidad con la que se propagan las ondas de corte y de compresión a través de los depósitos del suelo.

En materia de pruebas de laboratorio, el uso de mesas vibratoras y los modelos centrífugos (en países con economías boyantes) han permitido el desarrollo de métodos numéricos (y su verificación), los cuales han sido utilizados como herramientas en el diseño de presas. En México se han realizado significativos avances para conocer el comportamiento dinámico de suelos en cámaras triaxiales y equipos especiales. Estudios efectuados mediante el sistema MTS, que el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM tienen instalado en Ciudad Universitaria, es un ejemplo de los logros alcanzados en esta materia (e.g., O. Flores *et al.*, 2002).

En cuanto al tema de filtros protectores contra la tubificación y la erosión interna en presas de tierra y enrocamiento, en el IMTA se han venido haciendo estudios experimentales incipientes para comparar los criterios utilizados en otros países, en particular Estados Unidos y Australia, con los que tradicionalmente se han utilizado en México, basados de manera fundamental en análisis granulométricos (Flores y Gaytán, 2005). Los resultados, hasta ahora obtenidos, muestran la necesidad de utilizar criterios de diseño basados en pruebas de laboratorio donde se observe la efectividad de los filtros sometidos a flujos y gradientes semejantes a los que se tendrán en el sitio.

El monitoreo de la respuesta sísmica de presas como El Infiernillo y La Villita y el desarrollo de métodos numéricos ha permitido comprender aspectos fundamentales del comportamiento dinámico de presas, lo cual ha redundado en el diseño de cortinas más seguras y en algunas ocasiones se han logrado economías importantes (e.g., Romo y Villarraga, 1989; Romo, 2002).

LA GEOTECNIA EN LA CONSTRUCCIÓN

La participación del geotecnista durante las diversas etapas de la construcción es indispensable para verificar: a) que los materiales considerados en el diseño son los que se observan en el sitio

al momento de hacer las excavaciones y limpias, b) las inyecciones de lechadas cumplen con la profundidad y los porcentajes especificados en la mezcla, y c) los procesos de compactación cumplen en su totalidad con las especificaciones de espesores de capas, contenido de agua y la energía de compactación suministrada.

No menos importante es el control en el cumplimiento de las especificaciones de la granulometría de las zonas de filtros y drenes, en especial su colocación en el sitio de la obra. Existen muchas experiencias de taponamiento y mal funcionamiento de los filtros, precisamente por la segregación de las partículas del filtro al momento de su colocación, o bien, por el incumplimiento en la granulometría especificada; por ejemplo, en lo referente a contenido de finos.

La evolución de las técnicas y los criterios de inyectado, así como el desarrollo de técnicas para el control de compactación usando métodos expeditos, son dignos de señalarse. Así, en materia de inyectados se puede mencionar el método GIN, propuesto por Lombardi y Deere (1993), utilizado en varias de nuestras presas a partir de los años noventa. Este método utiliza una sola mezcla de inyectado estable para todo el proceso, con un aditivo superplastificante para incrementar la penetrabilidad, a una velocidad constante de bombeo que aumenta gradualmente la presión conforme la lechada penetra dentro de las fracturas de la roca. Dicho método se aplica bajo un control muy estricto a través de un programa de cómputo. En materia de control de compactaciones, se pueden señalar los siguientes (Nordfelt, 2005): a) medidor nuclear de pesos volumétricos, b) deflectores por impacto, c) los métodos de impedancia, y d) medidores continuos de densidades adheridos a los rodillos de compactación. Respecto al control de calidad de los concretos hidráulicos para las presas de enrocamiento con cara de concreto, así como para los concretos asfálticos para las cortinas de enrocamiento con núcleo de emulsión asfáltica, se requieren normas adicionales que geotecnistas y estructuristas deben asegurar su cumplimiento.

Durante el primer llenado de la presa, el geotecnista debe estar presente para ayudar a resolver cualquier eventualidad no prevista y tomar decisiones rápidas que eviten daños y fallas en el comportamiento de la cortina o su cimentación. Se ha comprobado que un alto porcentaje de los problemas por tubificación se originan durante el primer llenado de las presas.

LA GEOTECNIA EN EL MANTENIMIENTO Y LA SEGURIDAD DE PRESAS

En México existen hoy en día más de 4,000 presas construidas en todo el territorio nacional, muchas de ellas localizadas en zonas de muy alta sismicidad. Desafortunadamente, a muchas de estas presas no se les da el mantenimiento necesario ni seguimiento de la reparación o rehabilitación que varias de ellas requieren. Aunque se han hecho esfuerzos, la realidad es que no existe un sistema de seguridad de presas que permita señalar cuáles son las presas que mayor atención requieren para que no suceda una falla o un incidente catastrófico, mismo que puede traducirse en pérdidas humanas y económicas. No menos drástico es la existencia de presas abandonadas que, como resultado de su falta de inspección, presentan un peligro potencial por la ruptura de su cortina en cualquier momento.

Cuando se analiza la seguridad de una presa, es importante tomar en cuenta el efecto del envejecimiento de los materiales que constituyen principalmente la cortina y su cimentación. Debido a este efecto, los materiales téreos pueden experimentar cambios substanciales en su estructura, composición y sus propiedades, como consecuencia de la actividad microbiológica y los procesos químicos o mecánicos que toman lugar durante los años de vida de la presa. Los resultados de estos cambios pueden provocar reblandecimiento, rigidización, pérdida o ganancia de resistencia en esos materiales, o bien alteración de su conductividad hidráulica, taponamiento

de drenes y filtros, etcétera. Mitchell (2004) reporta la falla de la presa Carsington, en Derbyshire, Inglaterra, debido a este efecto del tiempo.

Por otro lado, existen varias presas que fueron instrumentadas para darle seguimiento al comportamiento de su cortina y su cimentación. Cabe señalar, sin embargo, que en la mayoría de los casos dicha instrumentación se encuentra abandonada y, consecuentemente, se desconoce el comportamiento de aquellos elementos de la presa donde la instrumentación fue instalada. Consecuentemente, se pierde información valiosa sobre el comportamiento global de la cortina.

Por lo anterior, es vital que se establezca un sistema de seguridad de presas que permita evaluar y priorizar aquellas que requieren una atención inmediata; en este sentido, la geotecnia puede contribuir significativamente en diseñar los mecanismos que permitan evaluar el estado en que se encuentra una presa y definir el grado de urgencia para su reparación o rehabilitación. Al respecto, en varios países se han desarrollado técnicas para cubrir esta parte esencial de la vida de las presas. En México, Ramírez Reynaga y Silva (2005) han presentado una metodología que parece ofrecer ventajas prácticas en la solución de esta importante tarea.

En materia de instrumentación, existen varias presas a cargo de la CFE a las que sí se les ha dado seguimiento e interpretación a los registros capturados, como son los casos de El Infiernillo y La Villita. Dicha información ha servido como base para diseñar y construir otras presas en México y otros países, principalmente considerando los aspectos sísmicos. Sin embargo, hay otras presas localizadas en la zona sísmica del Pacífico que, aunque están instrumentadas para conocer su respuesta ante temblores de gran magnitud, sus instalaciones se encuentran abandonadas y, hoy en día, requieren que los instrumentos instalados se rehabiliten o se sustituyan por actualizados.

En el tema sobre asolvamiento pensamos que la geotecnia tiene mucho que hacer para, por un lado, desasolver varias de las presas ahora inoperantes por este serio problema y, por otro, prevenir el asolvamiento en nuevas presas mediante un estudio detallado de los suelos sujetos a la erosión y arrastre por las corrientes de agua, junto con medidas de captación aguas arriba de esos materiales que vienen en solución con las corrientes de agua.

Este es un reto cuya solución requiere el esfuerzo conjunto de los hidrólogos y los geotecnistas.

Así mismo, el ingeniero geotecnista debe liderar múltiples aspectos relacionados con el diseño y construcción de obras de toma, túneles de desvío y casa de máquinas, y evaluación de la estabilidad de las laderas rocosas del vaso y taludes que se requieran para construir obras inducidas, como es el caso de canales, entre otras.

CONCLUSIONES

La geotecnia desempeña un papel fundamental en el diseño, construcción y mantenimiento de cualquier presa.

- En el pasado, la geotecnia mexicana aplicada a presas ha producido innovaciones y desarrollos tecnológicos que permitieron dar prestigio internacional a la ingeniería civil mexicana. Es preciso reforzar la participación de geotecnistas en el diseño y monitoreo de este tipo de obras.

- Actualmente, los desarrollos tecnológicos y las innovaciones geotécnicas mexicanas en presas se aplican en el diseño de las mismas. Sin embargo, es poco el crédito que se atribuye a su participación.
- En materia de construcción, la mayoría de las innovaciones geotécnicas provienen del exterior. Hace falta, por parte de las autoridades responsables del diseño y construcción de las presas, la asignación de mayores recursos al área geotécnica para que las investigaciones e innovaciones mexicanas sean acordes con la evolución de la geotecnia en otros países.
- En cuanto a mantenimiento y operación de las presas, hace falta un programa de seguridad de presas, donde la participación del geotecnista es clave. En el análisis de seguridad de una presa es muy importante tomar en cuenta el efecto del envejecimiento de los materiales, principalmente los que constituyen la cortina y su cimentación.
- La instrumentación instalada en las presas debe actualizarse y darse seguimiento a la información registrada, a fin de conocer el comportamiento de los elementos donde esa instrumentación se encuentra. Dicha información debe servir para realizar los cambios requeridos en la presa en cuestión, o en futuros diseños de presas. En particular, la instrumentación sísmica instalada en varias presas localizadas cerca de la costa del Pacífico debe actualizarse y darle seguimiento para conocer su comportamiento sísmico y mejorar el diseño en futuras presas

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Ing. José Luis Rosas sus comentarios en la parte correspondiente a los estudios preliminares en presas.

BIBLIOGRAFÍA

Barton, N. Lien, R. and Lunde. J. (1974), "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support", *Rock Mechanics*, Springer Verlag, Vol. 6 pp. 189-236.

Bieniawski, Z.T. (1979), "The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications", *Proc. 4a Int. Conference on Rock Mechanics*, Montreaux, Balkema, Vol. 2, pp. 41-48.

Flores-Berrones R. y Gaytán I. (2005) "Avances recientes en el diseño de filtros para presas de tierra y enrocamiento", *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol XX, núm. 2, pp79-94, abril-junio.

Flores Castrellón O., E. Gómez Rosas, M.P. Romo Organista y R. Flores-Berrones, "Instrumentación y automatización del equipo triaxial cíclico MTS, *Memorias de la XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, Querétaro, Qro., pp 297-306.

González de Vallejo, I. (1998), "Las clasificaciones geomecánicas para túneles", *Ingeotúneles*, Vol. 1., Ed. López Jimeno, Entorno Grafico, Madrid. Cap. 1.

Goodman, R.E. and Gen Hua Shi (1985), *Block Theory and its Applications to Rock Engineering*, Prentice Hall, 338 pp.

Lombardi G. y Deere D.(1993), "Diseño y control del inyectado empleando el principio GIN", *Water Power and Dam Construction*, junio.

Mitchell, J.K. (2004), "Time – The Fourth Dimension of Soil Behavior in Geotechnical Engineering". Seventeenth Nabor Carrillo Lecture. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Nordfelt I. (2005), "Technologies to Speed Earthwork Compaction Control", *Geo-Strata*, GEO Insitute, January/February.

Ramírez-Reynaga, M. y Silva F. (2005), "A Simplified Ranking Procedure to Assess Dam Safety in Mexico", *Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Japan.

Romo M P y Villarraga R. (1989), "Modelo teórico del comportamiento sísmico de presas. El Infiernillo", *Series del Instituto de Ingeniería*, No 518, julio

Romo M P. (2002), "Model development from measured seismic behavior of earth-rockfill dam", *Serie Investigación y Desarrollo*, No. 630, Instituto de Ingeniería, UNAM, julio, 39p

Rosas, José Luis (2005), comunicación personal.

ASPECTOS DE HIDROLOGÍA DE PRESAS: DISEÑO Y OPERACIÓN

*ÁLVARO A. ALDAMA
ALDO I. RAMÍREZ*

RESUMEN

El contenido de este documento se presenta en dos partes, ambas autocontenidas, que corresponden a dos aspectos que con frecuencia el ingeniero hidrólogo se ve en la necesidad de atender en cuanto al diseño y operación de las presas se refiere.

En la primera parte se presenta un nuevo enfoque en la estimación de avenidas de diseño. En la actualidad la mayoría de los eventos se estiman con base en el llamado análisis de frecuencias univariado, comúnmente basado en el tratamiento probabilístico de gastos máximos anuales. Sin embargo, este enfoque tiene la desventaja de que no proporciona el hidrograma completo de ingreso sino solamente su valor máximo. Ante la necesidad de contar con un hidrograma completo para continuar con el proceso del diseño hidrológico de una presa, ya que la avenida debe transitarse por el almacenamiento a fin de determinar la capacidad de control de avenidas, las características de la obra de excedencias y la altura total de la cortina, es también común la construcción arbitraria del hidrograma. La mayoración de la avenida máxima anual es un método común para la construcción de la avenida completa de diseño. Los autores de este documento han desarrollado un nuevo enfoque en la estimación de avenidas basado en el uso de una función de distribución bivariada de valores extremos de los gastos máximos y los volúmenes de escurrimiento. Con base en esto se desarrolla y aplica el concepto del periodo de retorno conjunto de la avenida. La aplicación de este concepto, además de brindar una base más realista en la selección de la avenida con efectos más desfavorables, incorpora en forma natural las características propias de la presa en estudio, haciéndola participar en el proceso de selección del evento para su diseño. La aplicación de la metodología a las presas "El Infiernillo" y "Huites" generan resultados interesantes, revelando que estos embalses no son tan seguros, hidrológicamente hablando, como creemos.

En la parte II se presenta la importancia no sólo de la selección de las políticas de operación de los vertedores sino más aún de su establecimiento y aplicación estricta, ya que cualquier desviación de éstas podría generar un incremento en el riesgo hidrológico del embalse. Asimismo, se presenta el caso del tránsito de avenidas en vasos con políticas escalonadas en la operación de sus vertedores. Se hace evidente que la forma actual de realizar este proceso podría conducir a errores en la solución y se presentan los conceptos para su atención.

PARTE I

DISEÑO HIDROLÓGICO DE PRESAS

Uno de los métodos más comúnmente empleados para la estimación de avenidas de diseño es el análisis de frecuencias (ver por ejemplo, Ponce, 1989). Este método consiste en el ajuste de una función teórica de probabilidad, generalmente de valores extremos, a los datos de gastos máximos anuales registrados en una estación hidrométrica. Esta función permite al hidrólogo estimar, mediante extrapolación, el valor de ese gasto máximo correspondiente a un cierto periodo de retorno, T_r . En este sentido, es también frecuente que las presas medianas a grandes se diseñen con un $T_r = 10,000$ años (Chow, 1964), lo cual induce en muchas ocasiones a errores en la extrapolación. Por otro lado, los parámetros de diseño de una presa son su capacidad de control de avenidas y su descarga de diseño, ya sea a través de vertedores libres o mediante una estructura controlada por el hombre. Tales parámetros se obtienen a través del tránsito de la avenida de diseño por el vaso de almacenamiento. Por lo tanto, los parámetros de diseño se determinan por la forma completa del hidrograma y no sólo por su gasto pico. En la práctica, la forma del hidrograma se asigna arbitrariamente, asumiendo por ejemplo que sus ordenadas son proporcionales a las correspondientes a la máxima avenida registrada, proceso que se conoce como "mayoración". Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la respuesta de algunos vasos de almacenamiento puede ser más sensible al volumen de escurrimiento que al propio gasto máximo del hidrograma. Con esto, resulta deseable atacar el problema de la caracterización de la avenida de diseño en un contexto probabilístico. Dicha solución se presenta en la primera parte de este documento.

En la segunda parte de este artículo se establecen algunas consideraciones sobre las políticas de operación de los vertedores en vasos de almacenamiento y se comenta el problema del tránsito de avenidas para el caso de tener políticas escalonadas en la operación de la obra de excedencias.

PARAMETRIZACIÓN DE HIDROGRAMAS

Para simplificar la descripción de una hidrograma, $Q=Q(t)$, donde Q representa el gasto y t , tiempo, es recomendable parametrizarlo. La parametrización más sencilla de un hidrograma debe contener sus parámetros más importantes, a saber: gasto pico, Q_p , tiempo pico, t_p , y volumen de escurrimiento, V . Los autores de este documento han desarrollado una parametrización simple, en términos de una familia de polinomios hermitianos de grado impar, (Aldama y Ramírez, 1998a). Un hidrograma construido sobre las bases de polinomios de grado $2n+1$ que pertenezca a esta familia, y sus derivadas hasta de orden n son continuos en el inicio de hidrograma, en su pico y en su final. Más aún, todos los miembros de la familia tienen el mismo volumen de escurrimiento para un gasto pico y un tiempo base, t_b , el cual está dado por:

$$V = \frac{Q_p t_b}{2} \quad (1)$$

En acuerdo con los elementos que se requieren para la construcción de estos hidrogramas, los autores los han denominado "hidrogramas triparamétricos hermitianos". El miembro de orden más bajo y también el más sencillo de esta familia, que posee continuidad de primeras derivadas, está dado por las expresiones siguientes:

$$Q(t; Q_p, t_p, V) = \begin{cases} Q_p \left[3(t/t_p)^2 - 2(t/t_p)^3 \right]; & t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[1 - 3(t - t_p)^2 / (2VQ_p^{-1} - t_p)^2 + 2(t - t_p)^3 / (2VQ_p^{-1} - t_p)^3 \right]; & t \in [t_p, t_b] \\ 0; & t \in (-\infty, 0) \cup (0, \infty) \end{cases} \quad (2)$$

En vista de sus propiedades, el hidrograma dado en la Ec. (2) ha sido recomendado por los autores con fines de parametrización de avenidas de diseño en el caso de que no tenga mayor información sobre la forma de los hidrogramas. Por supuesto que si esta información está disponible se puede utilizar la parametrización que mejor describa a las avenidas típicas generadas en la cuenca.

Empleando una solución analítica de la ecuación de tránsito de avenidas en vasos de almacenamiento (Aldama y Ramírez, 1998b), obtenida mediante un enfoque perturbatorio, los autores han demostrado que la respuesta de un vaso de almacenamiento sujeto a una hidrograma de entrada de la forma dada por la Ec. (2), en términos de la evolución de la superficie libre o del volumen almacenado, es más sensible a variaciones en Q_p y V y muestra muy poca sensibilidad a variaciones en t_p . Por lo tanto, la parametrización de un hidrograma de diseño de una presa se puede simplificar, al utilizar la expresión comúnmente empleada en la construcción de hidrogramas sintéticos (Chow, 1964):

$$t_p = \frac{3}{8} t_b \cong \frac{3V}{4Q_p} \quad (3)$$

CARACTERIZACIÓN PROBABILÍSTICA BIVARIADA DE AVENIDAS DE DISEÑO

Al sustituir la Ec. (3) en la Ec. (2), se obtiene una descripción bivariada del hidrograma de diseño de la forma $Q = Q(t; Q_p, V)$. De esta manera, es conveniente caracterizar a la avenida por medio de una *función de distribución bivariada de valores extremos* construida en forma adecuada y definida como sigue:

$$F_{qv}(Q_p, V) = P(q \leq Q_p \cap v \leq V) \quad (4)$$

donde q y v representan variables aleatorias en un espacio aleatorio bidimensional. Es bien conocido que las funciones de distribución marginal de (4) están dadas por:

$$F_q(Q_p) = \int_{-\infty}^{Q_p} F_{qv}(Q_p, V) dV \quad (5)$$

y

$$F_v(V) = \int_{-\infty}^V F_{qv}(Q_p, V) dQ_p \quad (6)$$

El periodo de retorno de un hidrograma cuya caracterización probabilista está dada por una función biviada $F_{qv}(Q_p, V)$ puede definirse como el recíproco de la probabilidad de excedencia simultánea o conjunta de Q_p y V , y puede referirse como periodo de retorno conjunto:

$$T_{Q_p, V} = \frac{1}{P(q > Q_p \cap v > V)} = \frac{1}{1 - F_q(Q_p) - F_v(V) + F_{qv}(Q_p, V)} \quad (7)$$

Debe notarse que el conocimiento de $F_{qv}(Q_p, V)$ no sólo permite la determinación del periodo de retorno conjunto, $T_{Q_p, V}$, sino también de los periodos de retorno individuales de gastos máximos, T_{Q_p} , y de volúmenes de escurrimiento, T_V , ya que:

$$T_{Q_p} = \frac{1}{1 - F_q(Q_p)} \quad (8)$$

$$T_V = \frac{1}{1 - F_v(V)} \quad (9)$$

ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA DE DISEÑO

En virtud de la forma mostrada por la Ec. (7) es evidente que existe un número infinito de pares de valores de Q_p y V que posee un periodo de retorno dado (por ejemplo, 10,000 años para presas medianas y grandes). Entonces, es necesario determinar cual de esos pares de valores produce los efectos más desfavorable sobre la presa en particular que está siendo diseñada o revisada.

Sea $Z_m = Z_m(Q_p, V)$ la máxima superficie libre alcanzada por el agua que se alcanza dentro del vaso una vez que se ha transitado un hidrograma de la forma dada por las Ecuaciones

(2) y (3). Con esto, la determinación de la avenida de diseño puede plantearse como un problema de optimización no lineal como el siguiente:

$$\max_{(Q_p, V)} Z_m = Z_m(Q_p, V) \quad (10)$$

sujeito a:

$$T_{Q_p, V} = \frac{1}{1 - F_q(Q_p) - F_v(V) + F_{qv}(Q_p, V)} \quad (11)$$

donde $T_{Q_p, V}$ es un valor preestablecido.

Para resolver el problema planteado, el cual por cierto permite la definición del hidrograma *completo* de diseño, a través de las ecuaciones (2) y (3) y su caracterización probabilística, a través de la Ec. (11), se debe determinar primero la función de probabilidad bivariada $F_{qv}(Q_p, V)$. Los parámetros que caracterizan a esta función pueden estimarse, por ejemplo, por el método de la máxima verosimilitud (Kite, 1988).

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El método descrito se aplicó a la revisión de la avenida de diseño de dos presas, "El Infiernillo", en Michoacán y "Huites" en Sinaloa.

"El Infiernillo" se encuentra en operación desde 1965. Debido a la ausencia de datos, la presa se diseñó utilizando un hidrograma cuyo gasto pico fue obtenido con la envolvente de Creager; el cual ascendió a 38,777 m³/s. Motivados por este hecho, se han realizado diversos estudios con el fin de determinar la seguridad hidrológica real de la presa (Marengo, 1994). Utilizando el enfoque tradicional del análisis de frecuencias y el criterio de la avenida máxima probable para determinar la avenida de diseño, la altura de la presa fue incrementada en 4 m, alcanzando una elevación de 184 m sobre el nivel del mar. Las políticas de operación también fueron modificadas.

La presa Luis Donaldo Colosio, mejor conocida como "Huites" fue diseñada con un hidrograma cuyo gasto pico fue obtenido mediante un análisis de frecuencias convencional. "Huites" es la más reciente de las grandes presas construidas y en operación en México. Con un NAME fijado en los 290 m y una altura de corona de 290.75 m, la altura del bordo libre no llega al metro.

Tanto "El Infiernillo" como "Huites" están localizadas en regiones en las cuales se tiene la presencia de eventos de origen ciclónico y convectivo. Por esta razón, es conveniente emplear distribuciones Gumbel Doble para caracterizar el comportamiento probabilístico de los gastos máximos y los volúmenes de escurrimiento:

$$F_q(Q_p) = p_q \exp\left[-\exp\left(-\frac{Q_p - a_1}{c_1}\right)\right] + (1 - p_q) \exp\left[-\exp\left(-\frac{Q_p - a_2}{c_2}\right)\right] \quad (12)$$

$$F_v(V) = p_v \exp\left[-\exp\left(-\frac{V - a_3}{c_3}\right)\right] + (1 - p_v) \exp\left[-\exp\left(-\frac{V - a_4}{c_4}\right)\right] \quad (13)$$

donde p_q representa la probabilidad de que Q_p pertenezca a la población de gastos pico producido por tormentas convectivas, p_v representa la probabilidad de que V pertenezca a la población de volúmenes de escurrimiento producidos por tormentas convectivas a_1 , a_2 , a_3 y a_4 son los parámetros de ubicación, y c_1 , c_2 , c_3 , y c_4 , son los parámetros de escala.

Por lo que se refiere a “El Infiernillo”, el análisis de frecuencias tradicional resulta en una avenida de diseño con gasto pico de 60,060 m³/s, que corresponde a un periodo de retorno de 10,000 años. Al mayorar esta avenida, con la máxima histórica ocurrida en 1967, se obtiene un volumen de escurrimiento de 12,400 millones de m³. El tránsito de este evento por el vaso genera una elevación máxima del agua de 183 m. Aún cuando el NAMO se ve sobrepasado, todavía queda un metro de bordo libre a la corona, dando cierta percepción de seguridad.

La aplicación del enfoque planteado en este documento genera un hidrograma de diseño con un gasto pico de 54,000 m³/s y un volumen de escurrimiento, no arbitrario de 13,960 millones de m³ y cuyo periodo de retorno conjunto continúa siendo de 10,000 años. Los periodos de retorno individuales de gasto máximo y volumen son de 3,800 y 4,507 años respectivamente, lo cual indica que “El Infiernillo” es ligeramente más sensible al volumen de las avenidas que a su pico. Una vez que se transita la avenida de diseño por el vaso, la superficie libre del agua alcanza una elevación de 186.73 m, la cual sobrepasa a la corona por 2.73 m., estableciendo en forma clara una condición de inseguridad hidrológica para el periodo de retorno de 10,000 años. Con las condiciones actuales es difícil que “El Infiernillo” esté diseñada para un periodo de retorno mayor que 750 años.

Con respecto a *Huites*, el análisis de frecuencias de gastos máximos convencional conduce a estimar un evento con gasto pico de 30,000 m³/s para un periodo de retorno de 10,000 años. Para el diseño original, la avenida fue mayorada con el evento de 1990 que no correspondía al máximo histórico, lo cual hace aún más evidente la arbitrariedad en la asignación del volumen de la avenida. Esta mayoración asignó un volumen de 5,240 millones de m³ al evento de diseño. El tránsito de esta avenida genera un NAME de 289.37 m, justo 0.63 m por debajo del NAME actual, con lo cual se pensaría que la presa es completamente segura para ese periodo de retorno.

Nuevamente, la aplicación del enfoque planteado permite estimar un evento de diseño con gasto pico de 29,000 m³/s y volumen de escurrimiento de 5,979 millones de m³, con periodos de retorno individuales de 6,034 y 3,135 años respectivamente. Con estos resultados, “Huites” es un vaso más sensible al pico de las avenidas que a su volumen. El tránsito de la avenidas así construida produce una elevación máxima de la superficie libre del agua de 290.58 m, lo cual sobrepasa el NAME actual en 0.58 m, aunque, afortunadamente queda aún 0.17 m por debajo de la corona. Los resultados indican que “Huites” no es tan segura como parece, al alcanzar no más de 7,000 años de periodo de retorno conjunto.

CONCLUSIONES DE LA PARTE I

Se ha presentado y aplicado un nuevo método para la estimación de avenidas de diseño para vasos y presas, basado en la caracterización de hidrogramas mediante una función de distribución bivariada de valores extremos. El método permite la asignación de un periodo de retorno a todo el hidrograma y no sólo al gasto pico. Con esto el evento de diseño se calcula como el par de valores, gasto pico y volumen de escurrimiento que generan los efectos más desfavorables sobre la presa específica que se diseña o revisa.

La aplicación de esta metodología a El Infiernillo” y “Huites” muestra que las presas no son tan seguras como podría parecer ya que en ambos casos, el NAME se ve sobrepasado. Resulta evidente que se requiere implementar un programa para la estimación de la verdadera seguridad hidrológica de las presas de México.

PARTE II

TRÁNSITO DE AVENIDAS EN VERTEDORES CON POLÍTICAS ESCALONADAS

Es de todos sabido que si el vertedor de excedencias tiene una gran capacidad de descarga, éste desalojará rápidamente el volumen de la avenida de entrada. Así como la capacidad de la obra de excedencias tiene influencia sobre la forma en que el vaso “controla” a la avenida, así mismo, aunque quizás en menor medida, la variación del gasto descargado, definida esta en función de los que se conoce como “política de operación”, tiene un efecto sobre el mismo control de la avenida. Es innegable entonces que la política de operación de una presa forma parte integral de las condiciones de diseño del vaso.

Por esta razón, si la política de operación no se cumple en la práctica, la presa no tiene el mismo nivel de seguridad hidrológica que el diseño original y entonces una modificación arbitraria en la política de operación de los vertedores podría generar un incremento en el riesgo hidrológico.

Ahora bien, es común que, particularmente en presas grandes, las obras de demasías de vasos de almacenamiento estén controladas por compuertas. Frecuentemente, las compuertas se operan mediante una política escalonada, a través de la cual se establecen umbrales de almacenamiento (o nivel) en los que abruptamente se modifica su abertura. Esto implica que el gasto de salida del vaso sea una función discontinua del almacenamiento (o nivel). Bajo tal circunstancia, los esquemas numéricos que convencionalmente se emplean para resolver la ecuación de tránsito de avenidas en vasos no convergen.

En esta parte del documento se presenta un análisis del problema descrito y se propone un esquema adaptivo para resolver la ecuación de tránsito de avenidas en vasos en los que la curva descargas-almacenamientos sea discontinua, y que garantiza la convergencia de las soluciones obtenidas mediante su aplicación. Para ilustrar la aplicación de la metodología propuesta, se utiliza el esquema propuesto en el tránsito de la avenida de diseño de la presa Huites.

TRÁNSITO DE AVENIDAS EN VASOS

El tránsito de avenidas en vasos está regido por la ecuación

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - O[S(t)] \equiv f(S, t); \quad t \in (0, \infty) \quad (14)$$

donde S representa el almacenamiento en el vaso; I , el caudal de entrada al vaso; O , el caudal de salida del vaso, y t , el tiempo. La función no decreciente $O[S(t)]$ define la curva descargas-almacenamientos, que puede ser continua para vertedores libres o discontinua para vertedores controlados por compuertas con políticas de operación escalonadas. La ecuación (14) se sujeta a una condición inicial del tipo

$$S(0) = S_0 \quad (15)$$

donde S_0 es el almacenamiento inicial. El problema definido por las ecuaciones (14) y (15) tiene solución fuerte, en el sentido que S y dS/dt serán continuas, si y sólo si $O[S(t)]$ es continua. No obstante lo anterior, dicho problema tiene solución débil aun cuando $O[S(t)]$ sea discontinua.

POLÍTICAS DE OPERACIÓN ESCALONADAS

En la práctica es común que las presas de almacenamiento posean obras de demasías controladas por compuertas cuyas políticas de operación sean escalonadas, como la dada por la siguiente expresión:

$$O(S) = \sum_{n=1}^N F_n(S) U(S - \tilde{S}_n) \quad (16)$$

$$\frac{\hat{S}_{k+1} - \hat{S}_k}{\Delta t} = \frac{1}{2}(I_k + I_{k+1}) - \frac{1}{2}[\alpha(\hat{S}_k) + \alpha(\hat{S}_{k+1})] \quad (17)$$

donde Δt es el paso o intervalo de tiempo, y \hat{S}_k es una aproximación discreta a $S(k\Delta t)$, $I_k \equiv I(k\Delta t)$ y k es un número entero no negativo. Evidentemente, el equivalente discreto de la condición inicial (15), al que se sujeta la ecuación de diferencias (4), es: $\hat{S}_0 = S_0$.

La política de descargas escalonada genera que, en el proceo de aplicación de la ecuación (17), el gasto descargado y por lo tanto el almacenamiento en el vaso salte de un tramo continuo al siguiente escalón, o bien que se salte de un escalón superior al anterior, originando inestabilidades en el esquema numérico. Es posible incluso que el algoritmo se cicle en una serie de saltos alternados.

Para solucionar este problema, Aldama y Ramírez (2004) desarrollaron un algoritmo adaptivo que obligue a que la aplicación del esquema (17) se haga siempre dentro de algún intervalo continuo y que los saltos $\Delta \tilde{O}_k$ dentro de la política de operación se manejen mediante una redefinición de las condiciones iniciales. La aplicación se basa en el concepto de predecir qué fracción del intervalo de tiempo es necesaria dar para llegar hasta el punto exacto del salto en la política. Tal fracción está dada por $r = \frac{\Delta t^*}{\Delta t}$, en donde Δt^* es precisamente el intervalo de tiempo necesario para llegar al salto.

El valor de r se obtiene de la solución de la ecuación:

$$ar^2 + br + c = 0 \quad (18)$$

donde

$$a = (I_{\ell+1} - I_{\ell}) / 2,$$

$$b = I_{\ell} - \left\{ \alpha(\hat{S}_{\ell}) + \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \alpha[\hat{S}^* - \varepsilon \operatorname{sgn}(\hat{S}^* - \hat{S}_{\ell})] \right\} / 2,$$

$$c = (\hat{S}_{\ell} - \hat{S}^*) / \Delta t$$

Evidentemente,

donde $\{F_n(S)\}_{n=1}^N$ es un conjunto de funciones continuas de S ; $U(\cdot)$, la función escalón unitario de Heaviside; $\{\tilde{S}_n\}_{n=1}^N$ es el conjunto de umbrales de almacenamiento contenido en la política de operación (que forma una secuencia ordenada de valores tal que $\tilde{S}_n < \tilde{S}_{n+1}$ para $n=1, 2, \dots, N-1$), y N , el número de escalones de dicha política.

CONVERGENCIA DE SOLUCIONES NUMÉRICAS

Los autores de este documento han demostrado (Aldama y Ramírez, 2004) que la ecuación (14) sujeta a la política de operación (16) no satisface la condición de Lipschitz, la cual es requerida para garantizar la convergencia de la solución, arrojando por lo tanto que las soluciones numéricas convencionales (basadas en pasos constantes de tiempo) no convergen.

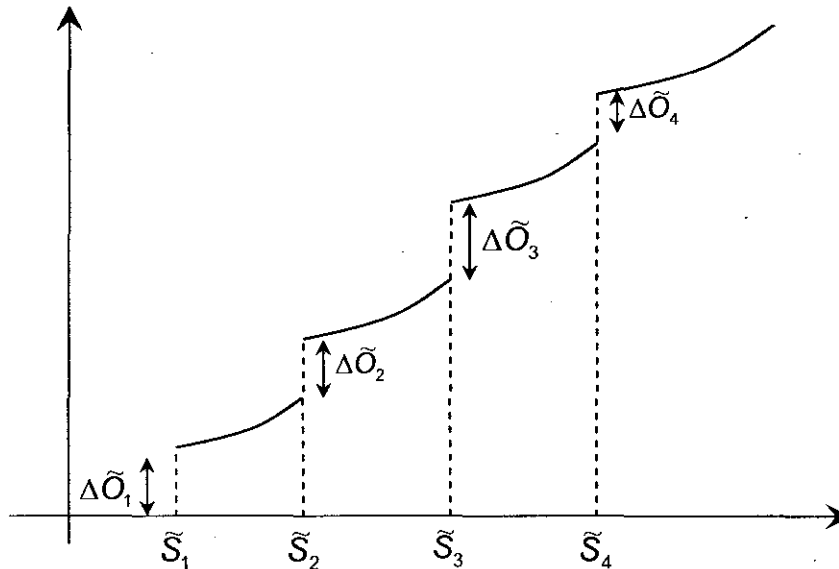


Figura 1.
Política de operación de un vertedor con compuertas

ESQUEMA ADAPTIVO PARA LA SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LA ECUACIÓN DE TRÁNSITO

Supongamos que la ecuación (14) se discretiza mediante un esquema numérico convencional, por ejemplo, la popular regla trapezoidal:

$$r = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a$$

El signo apropiado de la raíz cuadrada en la expresión anterior se determina empleando la siguiente condición de factibilidad física: $0 < r < 1$.

Una vez determinada r , se aplica la regla trapezoidal, a fin de que los valores del almacenamiento se puedan determinar en valores preestablecidos de tiempo (ésto es, cada Δt):

$$\frac{S_{t+1} - S^*}{(1-r)\Delta t} = \frac{1}{2}(I_{t+r} + I_{t+1}) - \frac{1}{2} \left\{ \lim_{\epsilon \rightarrow 0^+} O[S^* + \epsilon \operatorname{sgn}(S^* - S_t)] + O(S_{t+1}) \right\} \quad (19)$$

EJEMPLO DE APLICACIÓN

El esquema adaptivo se aplicó exitosamente en el tránsito de la avenida de diseño de la presa Huites estimada por Ramírez y Aldama (2000), para $\Delta t = 1$ h. En contraste, la aplicación directa del esquema trapezoidal convencional, dado por la ecuación (17), exhibió divergencias en las iteraciones no lineales para su solución, para dicha avenida y ese intervalo de tiempo. Esto valida la expectativa teórica presentada en este trabajo.

CONCLUSIONES DE LA PARTE II

Dado que el tránsito de las avenidas es un proceso muy importante tanto en el diseño como en la operación de las presas, la aplicación de este algoritmo para aquellos casos en los que las obras de excedencias presenten políticas de operación escalonadas resulta altamente recomendable. El uso de los esquemas tradicionales pueden conducir a la no convergencia, o al establecimiento arbitrario del intervalo de tiempo para lograr la citada convergencia.

REFERENCIAS

- ◆ Aldama, A. y A. Ramírez, 1998a. Parametrización de hidrogramas mediante interpolantes hermitianos, *Ingeniería Hidráulica en México*, 13, 19-28.
- ◆ Aldama, A. y A. Ramírez, 1998b. Tránsito de avenidas en vasos de almacenamiento a través de una solución analítica, *Avances en Hidráulica*, 1, Memorias del XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México.

- ◆ Aldama A. y A. Ramírez, 2004. Tránsito de avenidas en vasos de almacenamiento con políticas escalonadas de operación de compuertas. XVIII Congreso Nacional de Hidráulica, San Luis Potosí, S.L.P., 2004
- ◆ Chow, V. T., 1964. *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, New York.
- ◆ Kite, G., 1988. *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- ◆ Marengo, H., 1994. Análisis de riesgo de falla por avenidas en presas de tierra y enrocamiento, Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ◆ Ponce, V., 1989. *Engineering Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- ◆ Ramírez, A. I. y A. A. Aldama, 2000. *Análisis de Frecuencias Conjunto para la Estimación de Avenidas de Diseño*, Avances en Hidráulica 7, AMH-IMTA, México.

*Las Presas
y el Hombre*

Consideraciones Sociales

○

○

○

CONSIDERACIONES SOCIALES

Ing. Jaime Sancho y Cervera

INTRODUCCIÓN AL TEMA

La historia de la Humanidad, es la historia de la interacción del Hombre con el agua, de su desecho de controlarla y su necesidad de utilizarla en su beneficio

La ingeniería hidráulica, que data desde los primeros asentamientos humanos formales, probablemente en Mesopotamia, tiene como objetivo realizar obras que buscan controlar y aprovechar el agua.

En este contexto, cualquier acción u obra que a través de los siglos ha realizado el Hombre, para controlar y aprovechar el agua, tiene necesariamente un impacto social. El aprovechamiento del agua en todas sus formas o modalidades siempre se realiza con la finalidad última de elevar la calidad de vida de una comunidad.

Las presas no son una excepción. No importa con que fin se haya diseñado una presa (irrigación, generación, abastecimiento de agua potable, control o usos múltiples) en todos los casos su construcción induce impactos de carácter económico, social y ambiental en su entorno.

Hasta antes del último tercio del siglo XX, nadie cuestionaba los beneficios que proporcionaba la construcción de una presa.

De esta forma en México se han construido más de 1,000 grandes presas, que permiten: atender más del 50% de las 6 millones de hectáreas de riego del país; contar con una capacidad instalada en hidrogenación de 10,260 MW (equivalente al 22% de la capacidad total de generación eléctrica); abastecer de agua potable a cerca de 30 millones de habitantes; y proteger de inundaciones a numerosas localidades y áreas productivas.

En los últimos años del siglo pasado, se empezó a cuestionar la viabilidad de las presas en el mundo, principalmente por los impactos ambientales que el almacenamiento de agua ocasiona en el cauce aguas abajo del sitio del embalse y en el área inundada por éste; así como el impacto socioeconómico que se genera en las comunidades desplazadas por el embalsamiento del agua.

La respuesta a estos cuestionamientos ha sido por un lado, establecer un mayor rigor en la evaluación de los proyectos, incluyendo los impactos sociales y ambientales que generan, y la adopción de medidas de eliminación o mitigación de impactos negativos en las comunidades y al ambiente.

En este sentido, la atención de las comunidades potencialmente desplazadas se ha vuelto prioritaria.

Los beneficios sociales que se derivan de la construcción de una presa los podemos clasificar como sigue:

- Generación y consolidación de actividades productivas y de servicios, en su caso, por el impacto derivado de la finalidad misma del proyecto, ya sea de generación, irrigación, abastecimiento o control.

- Consolidación de asentamientos humanos y actividades productivas en las riberas del cauce aguas abajo de la presa, al reducirse el riesgo de inundaciones por avenidas.
- Consolidación de comunidades asentadas en el entorno del embalse por la posibilidad de desarrollar nuevas actividades productivas.
- Consolidación de comunidades vecinas al sitio de construcción de la presa, por la derrama económica que ésta genera.

Ejemplos de lo anterior tenemos muchos en México, como son: las planicies costeras de Sinaloa y sur de Sonora, que se desarrollaron a partir del control de los ríos que las atraviesan; la ciudad de Villahermosa, que se desarrolló gracias al control del río Grijalva; los complejos petroquímicos del río Coatzacoalcos, abastecidos por la presa la Cangrejera; Monterrey, que se abastece de las presas el Cuchillo y Cerro Prieto. Más recientemente tenemos los proyectos del río Sonora en Hermosillo y de Tres Ríos en Culiacán; así como la planicie de inundación del río Santiago, aquí en Nayarit.

Otra vertiente de los impactos sociales, nos la dan los estragos que cada año son ocasionados por las inundaciones, tanto en las zonas rurales como en las ciudades, las cuales afectan con mayor frecuencia a personas en condición de pobreza, ya que éstas por lo general se asientan en las zonas de mayor riesgo. Esto nos obliga a impulsar por un lado, un mayor control en el uso y destino del suelo, incluyendo la reubicación de asentamientos y actividades productivas, y por otro, continuar con el desarrollo de obras de mitigación, control y protección, entre las que se encuentran las presas.

CONSIDERACIONES SOCIALES; VISIÓN DEL GOBIERNO ESTATAL

Ing. Ernesto Navarro González

Seguramente esta es una zona importante en el mundo, donde en la parte continental tiene productos de alto valor pesquero como el camarón, huachinango ... y me dije – Pues dedícate a la pesca no le pienses. Cuando íbamos a las comunidades más altas, a las condiciones serranas el gobernador decía – Oye a que nos debemos de dedicar ante ustedes, la educación del estado esta totalmente definida debe de ser un estado dedicado a la silvicultura, con ese potencial que tenemos en la zona de nueva cuenta, zona climática, lo que pasa es que ocupamos un poco de infraestructura, caminos y de más silvícola y es un estado de desarrollo que es perredista y que además cosa rara, para lo que ustedes van a creer de temas sociales con formación de ingenieros de tal forma que lo que hicimos en ese primer año, en esos primeros meses es preparar una propuesta al presidente que créannelo, el día de hoy esta funcionando correctamente. Le pedimos 6 importantes temas, le dijimos al presidente que el estado de Nayarit es un estado en el que vale la pena invertir recursos fiscales por que tiene contabilidad social, reserva económica y rentabilidad fiscal. Entonces, le pedimos primeramente la facultad de poder desarrollar más de las vocaciones que ha tenido el estado en el país, desde hace 30 años que es el desarrollo turístico. Además requiere infraestructura en carreteras, infraestructura en energía, requiere por supuesto de condiciones que le llama uno certidumbre tiene que ver con la producción y le propusimos desarrollar un importante complejo turístico, el más importante del pacífico mexicano haciendo un corredor entre Vallarta y San Blas, para tener dos puertos históricos y crear 140 kilómetros de desarrollo y muy rápidamente les digo, hemos al día de hoy tenido como socio al gobierno federal, hemos tenido evidentemente el apoyo de la iniciativa privada y el tener más o menos 3300 cuartos hoteleros de desarrollo en los últimos 30 años de desarrollo turístico que sólo 4 veces hemos hecho 12,000 cuartos hoteleros. Tenemos hoy la inversión del CONATUR y el estímulo de desarrollo crítico más poblante del país, que nos da el crecimiento del empleo y el turismo en el mundo para seguir creciendo y el gobierno seguir dando.

Para hacer turismo nos tenemos que plantear evidentemente esta producción de energía y Nayarit, ya lo dije al inicio tiene la posibilidad real de hacer proyectos hidroeléctricos urgentes, de manejos de agua para la agricultura, que es el potencial que se le tiene que plantear al señor presidente para poder hacer por lo menos en esta administración, un proyecto hidroeléctrico en esta región. En aquel momento planteábamos hacer lo que hoy se conoce como El Cajón o El Cajón 2 que hoy se conoce como la Yesca, un proyecto de generación base que nos permitiera crear una zona de desarrollo industrial o de energía diferencial, que yo sigo pensando que es una de las posibilidades de la entidad para los siguientes proyectos hidroeléctricos en nuestra entidad. Y por que decidimos que el gobierno del estado impulsará junto con CFE, que también en aquellos días ya venía Don Alfredo Elías Ayub, en esas reuniones de gabinetes hacer el proyecto hidroeléctrico de El Cajón.

Evidentemente, yo dije que nos interesaba un proyecto de energía base, pero El Cajón es una planta de energía tipo que va a favorecer seguramente mucho más a entidades y gente fuera del estado que a nosotros. Entonces ¿Por qué tenemos tanto interés de hacerlo? – Bueno la primer historia se escribe por que Nayarit tiene 1/3 o tenia hasta hace unos meses de territorio estatal que ni siquiera podían sus moradores hacerlo por tierra, es decir, el municipio de la Yesca carecía de comunicación terrestre y que gracias al traer el tema del Cajón a Nayarit su primer beneficio es poder comunicar 1/3 de territorio estatal mediante este importante proyecto terrestre.

Hoy en día no todo es pavimentado pero ya hay comunicación de tal manera que el primer beneficio se logra con una comunicación hacia el interior del estado, con un beneficio adicional y muy importante en estos municipios, don Cuco que esta aquí presente de Sta. María del Oro les va a decir los presupuestos que tienen, me estaban diciendo que el derrame es de 7 millones de pesos ¡imposible! Que un municipio con sus recursos propios pueda salir delante de uno de cuatro municipios de esta entidad, Sta. María del Oro, lo que es Ixtlán del Río, La Yesca, evidentemente Jala lo impacta.

Hoy las negociaciones han sido afortunadas por que felizmente al ing. Granados yo le planteaba que hubo una reunión, que si bien es cierto que en gobierno del estado la Secretaria de Desarrollo era el enlace, deberíamos tener un instrumento para poder redimir las controversias de una manera correcta por que el problema que tenemos es que no hay quien escucha a quienes están inconformes y finalmente el ing. Granados le habla al ing. Laris luego Marengo me habla y me dice - Oye estamos afinando cual debe ser el mecanismo de conciliación y en fin aquí intentamos una figura y le llamamos esta Comisión, atención o desarrollo o puntos relacionados con el P.H. El Cajón. Y creo que no tenemos ningún conflicto serio.

Hay 4 asuntos en los tribunales que tiene que ver si se va a pagar, ¿Cuánto?, si es poco o si es más, pero son pesos y centavos no tenemos una diferencia entonces en la concepción social de un proyecto y el igual es que hay 5 mil nayaritas trabajando ahí en El Cajón.

El resultado es que el año pasado Nayarit se coloca en el quinto estado con más crecimiento de empleo en el país y al igual se que hemos pasado de tener un nivel de salario total en el estado, en el seguro social, lo que son de a deberás que era apenas de \$68 a \$152 pesos se a duplicado en aumento, eso es beneficio real cuando se logra conciliar obras que detonan el desarrollo.

En el real supuesto nosotros, más bien yo, vengo a decirles a quien nos escucha que ojalá y en otras entidades del país deberían seguir haciendo obras grandes, no solamente como esta. El país requiere obras de infraestructura a lo mejor hay gente que no creerá que serán todas presas hidroeléctricas en el estado decir que siguen siendo factor para todo tipo de presas, ya mencione que tenemos 4 cuencas sin hacer obras de infraestructura y en esas cuencas lo terrible es que estamos pasando de la inundación a la sequía, de tal forma que estamos ajustando en el corto plazo de la docena de presas que se pueden hacer en el estado al menos 2 proyectos amarrados a corto plazo.

Seguramente alguna impresión respecto a este tipo de proyectos en Nayarit nos ha ido bien, muy bien con la creación de proyectos hidroeléctricos por eso le apostamos a seguir haciendo infraestructura de esta importancia y resolver seguramente a quien va a financiar este tipo de proyectos.

Yo entiendo que en la parte técnica tenemos buen acervo, creo yo y si logramos ponemos de acuerdo y creamos políticas en un hemisferio de estado y las políticas son cuando el gobierno y la sociedad se ponen de acuerdo, seguramente vamos a poder construir un mejor México y un Nayarit.

CONSIDERACIONES SOCIALES; VISIÓN DE LOS MUNICIPIOS

Ing. José Refugio Polanco

En el 2002 un servidor de ustedes, que asumió la responsabilidad de tener al frente este vigésimo sexto ayuntamiento de este municipio en actividad solamente temporal.

Éramos sólo productores de caña de azúcar, productores de maíz, cacahuete y actualmente productor de agave para el tequila, la ganadería recientemente impulsada por el gobierno del estado que preside el C.P. Antonio Echevarría y bueno desde el 2002 se nos notifica por parte de CFE que encabeza el Ing. Alfredo Elías Ayub que se tenía proyectado y considerada en esa zona del río Santiago la inversión y construcción de este proyecto hidroeléctrico El Cajón.

Éramos los protagonistas en ese momento del inicio de este gran proyecto, un proyecto detonador en esa zona. Por que yo les aseguro y creo que hay gente de diferentes países, de estados de la República, siendo que anteriormente Santa María del Oro no aparecía ni en el plano local y hoy aparecemos en un esquema internacional, gracias a este gran proyecto del Cajón. Una intervención de todos los que participan en este gran proyecto tuvimos un sinnúmero de reuniones, de entrevistas entre quienes iban a ceder parte de su patrimonio familiar por que para ejecutar el Cajón tendrían que primero construir la vía de acceso hacia el Cajón, el cual está clavado en la sierra totalmente poco más de 40 km.

Totalmente sin comunicación y en esos 42 km tenía con sus terrenos la tenencia en la tierra de Santa María del Oro, básicamente es ejidal de esos 5 ejidos con sus mesas directivas, con sus propietarios por que ya paso el PROCEDE, donde el gobierno federal ya les entrego un documento donde son auténticos dueños de sus tierras.

Bueno!! Luego vino el brote de algunos grupos inconformes, Asociaciones Civiles, líderes políticos, gente interesada por hacerse notar en este proyecto y salieron defensores, falsos defensores, debo decirles por que hicimos un trato con quien en ese momento estaba al frente de ese proyecto el Ing. Federico Schroeder Contreras, el Sr. Raúl Gutiérrez, que es el que encabeza los contratos de trabajo del SUTERM, con el Ing. Luis Horcasitas, quien es quien estaba al frente de la Constructora ICA y entre todos juntos fue el éxito que nos coordinara el Ing. Ernesto Navarro González por instrucción del gobernador, hicimos un trato. ¡Fuera manos ajenas de este proyecto!

Solamente gente interesada, gente que tuviera que ver en ese proyecto y es como pudimos avanzar.

Hubo inconformidades y no fue nada fácil, debo decirles que hubo personas quienes nos decían primero traime el ataúd antes de ceder para que pase la carretera por mis terrenos, tierras que fueron heredadas por mis abuelos, sus abuelos, tus abuelos y que difícilmente nos podemos desprender, no tanto por el valor económico de esa tierra si no por el valor sentimental, valor de la familia que querían conservar el recuerdo de muchos años de la lucha agraria.

Sin embargo, la coordinación perfecta la tuvo el Ing. Navarro, pudimos competir con esos 5 ejidos para poder llevar el camino hasta lo que es la zona del P.H. El Cajón y les decía ya no es nada comparable con el valor familiar, sentimental que tuviera ese pedazo de tierra.

Efectos negativos que vivimos hasta ese entonces, hubo desconcierto sobre todo de los habitantes, había desconcierto total de la ciudadanía. Aunque ya teníamos y habíamos vivido hace 10 años lo que es la presa Aguamilpa, ya habían surgido nuevas generaciones, los que hace 10 años eran niños ya son jóvenes y viejos, jóvenes con conocimientos que verificaban con los efectos negativos que pudiera traer una obra de esta naturaleza que en un momento se vivió, y yo le solicité a CFE que dieran un programa de orientación, un programa de orientación a los padres de familia, a los maestros, a las instituciones educativas, académicos y todos juntos pudiéramos enfrentar a lo que avecina, y los que no quisieran esta obra podrían contrarrestar estos efectos negativos en Santa María del Oro.

Aquí también se mencionó al inicio de foro que es caro construir una presa que por que el cambio de luz y de suelo, de superficies de construcción no se cuantos millones de pesos se necesitaba invertir a través del señor gobernador quien los representaba el ing. Navarro González en ese momento y tuvimos buena respuesta, buena respuesta por que tuvimos grandes beneficios en Santa María del Oro es diferente Santa María de Oro no es el mismo cambio de actividad hay mucho empleo. Hace rato lo platicaba con el Sr. Raúl Gutiérrez, yo creo que ahí no trabaja el que no quiere, por que en cada momento Raúl Gutiérrez y gente del SUTERM, me esta avisando que esta solicitando quienes se interesan en trabajar en el Cajón, gente por que hay empleo e ingreso en la familia.

Antes era diferente por que teníamos una carretera que lo más ancho de esa carretera de dos carriles era de 5 o 5.50 metros en partes de 4.80 donde cuando se juntaban 2 camiones grandes tenia uno que pararse para que el otro circulara. Ahora tenemos una de 4 carriles alumbrada totalmente ese es cambio que hicimos del pago de impuestos por cambio de uso de suelos y por permiso de construcción a CFE pero adicional a ello el gobierno del estado participa también impulsando el desarrollo con una carretera comunicada a pueblos de Santa María y Tepic., Pavimentando alrededor de 17 Km, adicional a ello se a dotado de agua potable, esta trabajando una dotación de agua potable aun pueblo que carecía de ello, conexiones de vía, de vías de comunicación para varios pueblos, pero además se a atraído el turismo.

Santa María cuenta con un lugar muy bonito con algo comercial, quien no conozca la laguna lo invitamos a que la conozca.

La laguna de Santa María del Oro, es uno de los lugares más hermosos de este estado y tenemos turismo de varios estados de la república, gracias al Cajón. Hoy los prestadores de servicio de ese lugar tienen ingresos, generan empleo y el impulso del turismo, yo creo unas 10 veces más lo que fue detonante del P.H. El Cajón.

Santa María del Oro recibe participaciones federales, no tiene ingresos propios por que su actividad no lo permite, recibimos ingresos federales al año poco más o poco menos de 7 millones de pesos en inversiones de infraestructura de desarrollo nacional en sus diversos aspectos.

Yo solamente recomendaría a quien tenga la voz que se haga escuchar en los niveles federales la proyección de nuevas presas considerando los aspectos sociales, la seguridad publica, incrementar los servicios de educación, de salud pero a su vez la implementación de campañas anticipadas, preventivas de que nos otorgará este proyecto,

Ojalá la Comisión nos pueda proyectar nuevamente otra presa en Santa María del Oro.

*Las Presas
y el Hombre*

Equipamiento Electromecánico

○

○

○

○

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, TURBINAS Y PLANTAS GENERADORAS

Ing. Manuel Viejo Zubicaray

TURBINAS ORIGEN Y EVOLUCIÓN

La palabra turbina viene del latín *turbo-inem*, que significa rotación o giro de cualquier cosa.

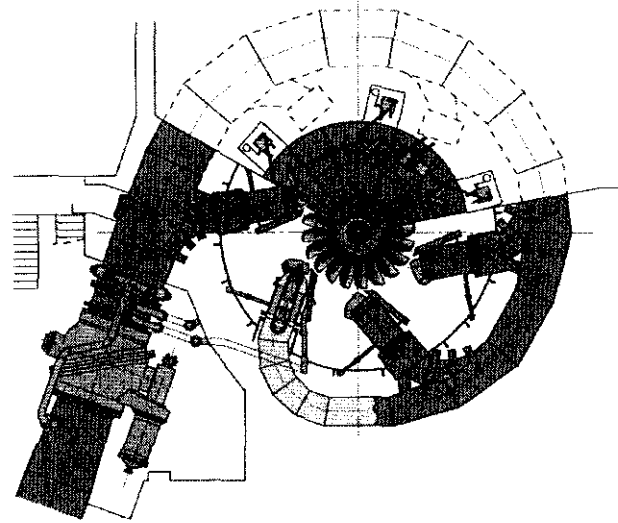
Las primeras máquinas usadas, fueron las ruedas hidráulicas tangenciales. Estas aparecen en Alejandria y Egipto en los principios de la era cristiana.

Los romanos convirtieron la rueda hidráulica en una fuente de fuerza mecánica, en usos como el de los molinos. La historia recoge el nombre de Vitruvius como el ingeniero que llevó acabo tal modificación.

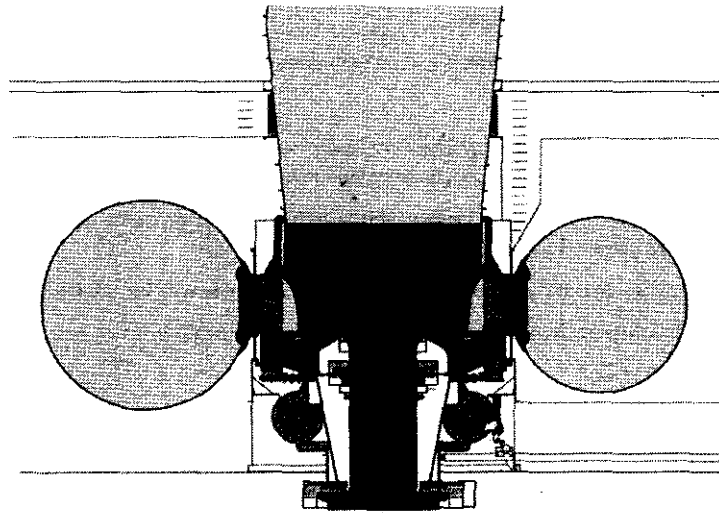
CRONOLOGÍA DEL NACIMIENTO DE LAS TURBINAS

- 1827 Fourneyron inventa la primera máquina hidráulica prácticamente utilizable que transformo posteriormente en turbina de reacción.
- 1841 Henschel Jonval primera turbina axial de reacción con tubo de aspiración.
- 1842 Rueda tangencial de Zuppinger, para grandes saltos y caudales reducidos.
- 1843 Fontaine construyó la turbina Jonval para saltos constantes y caudales variables, trabajando a libre desviación.
- 1848 Schwamkrug primera turbina parcial para grandes saltos y caudales reducidos.
- 1849 Francis.
- 1851 Girard perfeccionó la turbina Fontaine, regulando las células consecutivamente asegurando su ventilación y construyendo la turbina parcial.
- 1860 Haenel,Knop y Lehmann construyeron la turbina Girard en forma de turbina límite para caudales y saltos variables.
- 1872 Fink paletas directrices giratorias; primera regulación correcta de las turbinas de reacción.
- 1873 Voith construye la primera turbina Francis con paletas Fink.
- 1880 Rueda Pelton.
- 1912 Primeros experimentos con la Turbina Kaplan.
- 1925 Puesta en marcha de la primera turbina Kaplan de grandes dimensiones.**

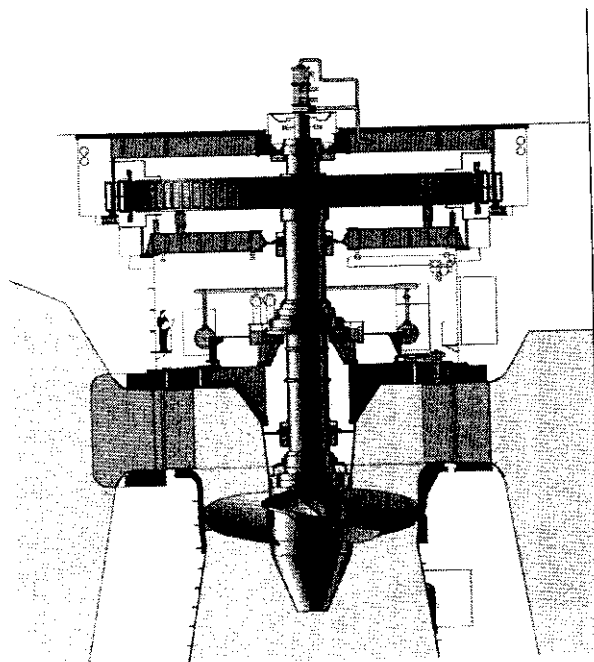
*** Actualmente solamente se construyen tres tipos; Pelton, Francis y Kaplan.*



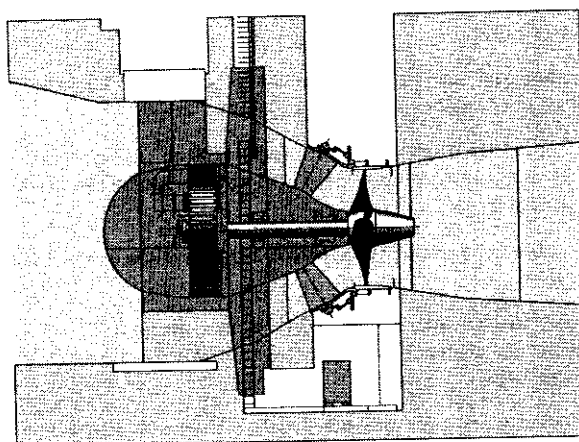
Turbinas PELTON



Turbinas FRANCIS



turbinas KAPLAN



turbinas BULBO

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITAIPÚ

- Complejo hidráulico en el Río Paraná
- Es la mayor en operación en el mundo
- Altura de la presa principal 196 m.
- Potencia instalada 12,600 MW
- Cuenta con 18 unidades generadoras con 700 MW cada una.

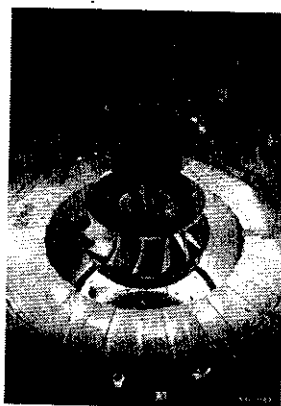


ITAIPÚ NÚMEROS GRANDIOSOS

- El volumen total de concreto armado utilizado en la construcción de la Itaipú sería suficiente para construir 210 estadios de fútbol como el Maracanã en Río de Janeiro.
- El hierro y el acero utilizados permitirían la construcción de 380 Torres Eiffel.
- La descarga máxima del vertedero ($62.2 \text{ mil m}^3/\text{seg}$) corresponde a 40 veces el caudal medio de las Cataratas de Iguazú.
- El caudal de 2 turbinas de la Itaipú (700 m^3 de agua por segundo cada una), corresponde a todo el caudal medio de las Cataratas ($1500 \text{ m}^3/\text{seg}$)
- La altura de la presa principal (196 m) equivale a la de un edificio de 65 pisos.
- Brasil tendría que quemar 434 barriles de petróleo por día para obtener en plantas termoeléctricas la misma producción de energía que la Itaipú.
- El volumen de excavaciones de tierra y roca en Itaipú es 8.5 veces superior al del Eurotúnel (que une Francia e Inglaterra debajo del Canal de la Mancha) y el volumen de hormigón es 15 veces mayor.

ITAIPU COMPARADA CON SANXIA

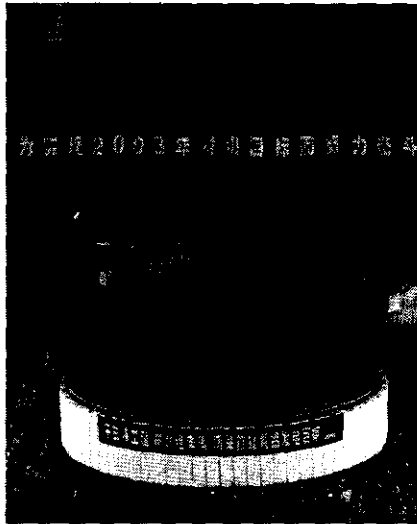
- A pesar de la grandiosidad de la central hidroeléctrica de las Tres Gargantas, actualmente en construcción, la Itaipú continuará siendo, por muchos años, la mayor central hidroeléctrica del mundo en el concepto más importante para una Central Hidroeléctrica de este tipo
- La producción de energía. la Itaipú ya superó la marca de 93,4 mil millones de kWh/año, mientras que la previsión para las Tres Gargantas es la de producir 8484.7 TWh/año será la generación total, con sus 26 máquinas de 700 MW cada una.
- Aunque con potencia instalada inferior a la de las Tres Gargantas y con ocho unidades generadoras menos, la Itaipú tiene un rendimiento mayor que aquel especificado en el proyecto de la hidroeléctrica china.
- El caudal del Río Paraná es más estable que el del Río Yang-tse, donde está siendo construida la central de Tres Gargantas. Además de esto, las aguas del "Paraná" son reguladas por las decenas de centrales que existen aguas arriba de la Itaipú.



Sanxia Runner



Sanxia inside Powerhouse



Sanxia Generator

EXPERIENCIAS TÉCNICAS EN EL MONTAJE ELECTROMECÁNICO DE LAS GRANDES TURBINAS Y GENERADORES DE DIFERENTES PLANTAS EN MÉXICO

Ing. Salvador José del Pozzo Mastachi

RESUMEN:

Es importante hacer notar que además de las ventajas que en sí conlleva la construcción de una presa, el hecho de generar energía eléctrica aporta al desarrollo nacional un gran apoyo.

El hecho de que este tipo de trabajos se haga con personal mexicano nos llena de orgullo y satisfacción, además abre posibilidades adicionales de fuentes de trabajo especializado en la zona de influencia.

Por último se quiere hacer notar que el generar energía hidroeléctrica, a el agua no la dañamos, la detenemos, formamos el embalse, lo admiramos, hacemos que pase por la turbina y al aprovechar su ímpetu la compensamos con un beso de los alabes y la dejamos pasar.

ANTECEDENTES

Desde la fundación de la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1937, la Obra Civil se encargaba a una compañía constructora y la Obra Electromecánica la efectuaba la propia Comisión con personal eventual que había adquirido parte de su experiencia en "Compañía de Luz" ó con las empresas petroleras.

Al paso del tiempo se fueron formando brigadas de montaje con personal de base permanente en las posiciones de electricistas, montadores, paileros, mecánicos y los correspondientes ayudantes de los oficios anteriores, encabezando estas brigadas (se llegaron a formar tres) por un Ingeniero Superintendente y uno o dos Ingenieros Auxiliares.

Cuando se estaba construyendo alguna obra que implicara montaje electromecánico, el personal de la brigada se incrementaba con personal eventual.

Es necesario hacer notar que muchos de los ayudantes eventuales se convirtieron en maestros de oficio, al paso del tiempo se fueron quedando de base en las brigadas.

A partir de 1994 la C.F.E. empieza a cambiar de esquema y la obra electromecánica es contratada a compañías especializadas, dando por consecuencia que dichas brigadas tendieran a desaparecer. La última obra en la que participó la Brigada No. 3 fue parcialmente en la Central de Aguamilpa, ya que la parte electromecánica fue contratada a un consorcio en el que se incluía el suministro así como el montaje.

Es necesario hacer notar que aunque la responsabilidad del montaje recaía sobre las empresas extranjeras que suministraban los equipos y que la dirección del montaje también era de personal extranjero, se hace notar que salvo contadas excepciones la verdadera labor del montaje fue de técnicos y obreros mexicanos.

Es muy satisfactorio manifestar que desde los primeros montajes se ha continuado en cuando menos 3 generaciones con la tradición a nivel familiar en las poblaciones en donde se han

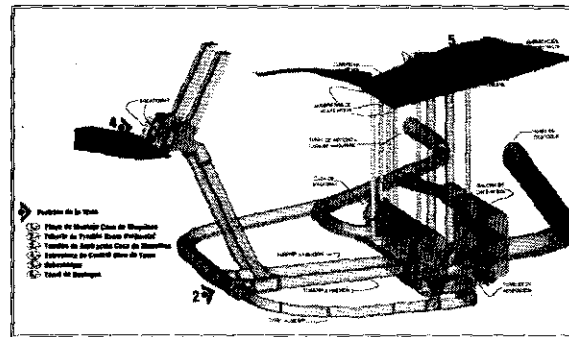
montado este tipo de plantas y ha dado origen a un granero de técnicos, obreros especializados y hasta profesionales en esta rama como es el caso de Tuxtla Gutiérrez en Chiapas.

Al hacerse el montaje de la Central de Aguamilpa ocurrió, quizá a menor escala, lo mismo que en Tuxtla Gutiérrez, a partir de entonces en la ciudad de Tepic se han incrementado los talleres mecánicos y de estructuras y se encuentra personal diverso capacitados para el montaje de las centrales hidroeléctricas y en nuestro caso muy especial serán de gran ayuda en los trabajos a desarrollar en el montaje del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.

Los equipos ha instalar en la Central "El Cajón" así como los instalados en las Centrales de Huites y Aguamilpa en su mayoría han sido de importación y sobre todo la tecnología, respetando desde luego las especificaciones y requerimientos de Comisión Federal de Electricidad.

Con tecnología de los fabricantes extranjeros se han llegado a fabricar parte de algunos equipos en los talleres nacionales:

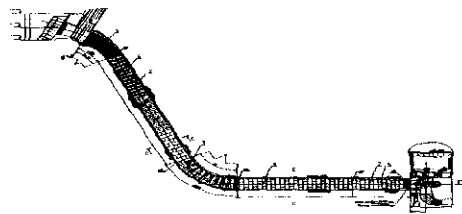
- Carcaza espiral de las turbinas de Aguamilpa, así como los tubos de aspiración, secciones de compuerta del vertedor, la totalidad de las tuberías de presión, las rejillas de obra de toma y la estructura soporte de las grúas viajeras en Casa de Máquinas.



MONTAJE

OBRA DE TOMA

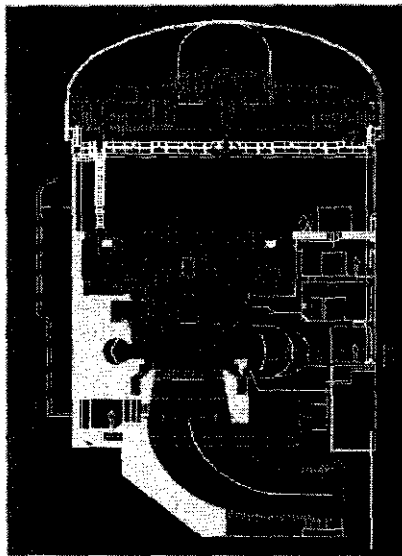
Es el conjunto de mecanismos que tienen la función de permitir ó cerrar el paso del agua a la turbina, los elementos principales son las compuertas de servicio, una para cada conducto, la compuerta auxiliar, el sistema oleodinámico compuesto por los servomotores y la central oleodinámica y una grúa pórtico para operar la compuerta auxiliar en los diferentes conductos a presión.



TUBERÍA DE PRESIÓN

Es el elemento que conduce el agua a la tubería, es de sección circular cuyo diámetro está en función de la carga y el volumen a conducir para dar la potencia correspondiente a cada turbina, normalmente esta fabricada de acero cuyo espesor va aumentando cuando aumenta la carga hidráulica.

El montaje se efectúa posicionando los canutos que la forman, los cuales son transportados desde la zona de almacenamiento a la posición de lanzamiento, después de posicionar cada uno de ellos, se sueldan circunferencialmente entre si y se verifica la calidad de la soldadura, después de montar tres canutos se hace el empaque de concreto, este proceso se repite hasta colocar el último de los canutos, a continuación se hace la inyección de consolidación y la de contacto entre el concreto y el acero, se resanan las perforaciones con soldadura, se hace la limpieza mecánica, se *sanblastea* y posteriormente se da la protección anticorrosivo.



TURBINA

El montaje de la turbina se inicia con el armado y posicionamiento del tubo de aspiración, este es el elemento de desagüe y se le llama así porque crea una aspiración o depresión a la salida del rodete. Su función es recuperar la energía cinética que de otra forma se despreciaría al descargar libremente a la atmósfera.

Después de dejar ahogado el tubo de aspiración, la obra civil nos prepara las bases en que apoyamos el antedistribuidor y la carcasa espiral cuya función es repartir uniformemente el agua en la periferia de la entrada del rodete. Después de que están totalmente soldadas todas las partes de la carcasa espiral, se colocan las tapas, la cilíndrica en interior del antedistribuidor y la semiesférica en la zona de conexión con la tubería de presión, a continuación se hace la prueba

hidrostática para verificar la calidad de la soldadura con una presión de 1.5 veces la presión máxima de trabajo, posteriormente se sostiene la presión de trabajo y se empaca en concreto la carcasa, se continúan los colados hasta el piso de excitación y posteriormente se inicia el montaje de mecanismos de turbina.

MONTAJE DE MECANISMOS:

- Se ajusta el escudo o tapa inferior que es la que liga el tubo de aspiración con el antedistribuidor y soporta los alabes móviles.
- Se montan los alabes móviles.
- Se ajusta la compuerta cilíndrica y se verifica su posición.
- Se monta el rodete.
- Se monta la flecha.
- Se monta la tapa superior con la compuerta cilíndrica y los servomotores que la accionan.
- Se instala el soporte de la chumacera de carga.
- Se montan los mecanismos de control de los alabes.
- Se montan las chumaceras de carga y guía.

Simultáneamente a lo anterior en las zonas adyacentes exteriores se van montando los sistemas de control, agua de enfriamiento, control de velocidad y sistemas de aire a presión y en general todos los sistemas de servicios generales.

GENERADOR

Como su nombre lo indica es el elemento del turbogenerador que transforma la energía de movimiento de rotación en energía eléctrica.

Las partes principales del generador son el estator y el rotor. El rotor es el núcleo del generador que gira acoplado a la flecha del motor hidráulico que es la turbina, es la pieza mas pesada del turbogenerador y es este el que da la pauta para escoger la capacidad de las grúas y se elige mover este elemento con dos grúas sincronizadas mecánica y eléctricamente desde la zona de armado en playa de montaje a su posición definitiva sobre la turbina. El estator es la parte fija del generador y normalmente se arma en el foso, está dividido en secciones, generalmente de 4 a 6, éstos vienen fabricados con la mayoría de las bovinas instaladas, las que se instalan en el montaje son las correspondientes a las secciones a unir.

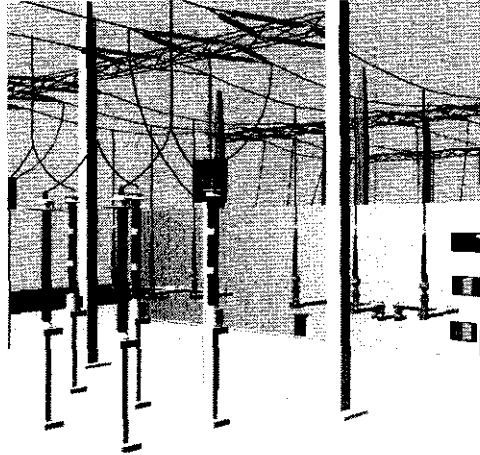
BUS DE FASE AISLADA

El bus de fase aislada ó barras de potencia es el elemento que conduce la energía eléctrica desde el generador al transformador, consiste principalmente en un tubo abierto de pared gruesa, normalmente de aluminio y va soportado por aisladores especiales para separarlo de la cubierta

que a la vez le sirve de soporte, esta consiste en un tubo circular de pared delgada, la distancia entre conductor y cubierta dependerá del voltaje de generación.

TRANSFORMADOR

El transformador es el elemento que modifica el voltaje de generación al de transmisión, este último dependerá de la distancia a la que se va a llevar el fluido eléctrico. En nuestros casos se han elegido tres transformadores monofásicos por unidad para formar el circuito trifásico, normalmente se deja de reserva un bote monofásico para varios grupos trifásicos.



SUBESTACIÓN

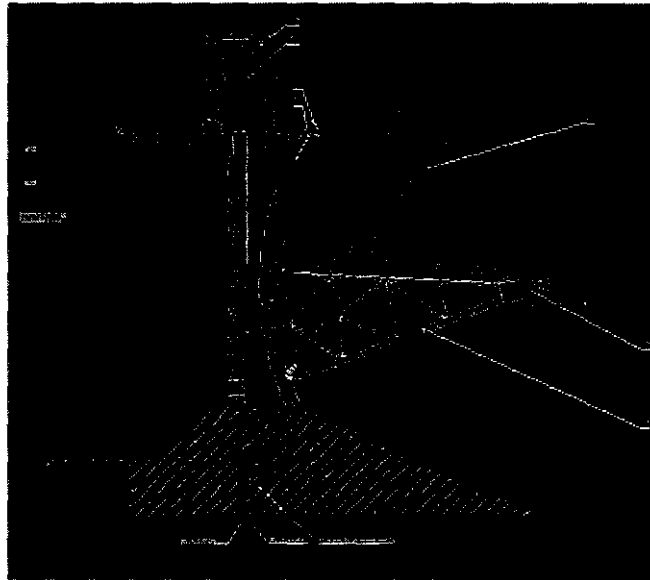
Es el conjunto de elementos: Apartarrayos, transformadores de potencial, transformadores de corriente, aisladores soporte, chuchillas, interruptores, trampas de onda, aisladores y cables en donde se discrimina la alimentación de entrada, el bus de alimentación o el de transferencia y las líneas de salida. En algunos casos el sistema de interruptores se hace con un conjunto de elementos que están aislados con exafloruro de azufre (SF6) en cámaras cerradas, esto permite que las dimensiones de la subestación ocupe un menor espacio.

Dentro de la subestación normalmente se encuentra la caseta de control en la cual están instalados todos los tableros, consolas y elementos de control y señalamiento, incluyendo los de comunicación para efectuar una operación de la planta ya sea local en la caseta ó remota desde otra subestación ó centro de control a distancia.

COMPUERTAS DE DESFOGUE

Estas compuertas se instalan en la galería de oscilación y su función es evitar el paso del agua del río ó de la máquina adyacente a la zona del tubo de aspiración y la carcasa cuando se hace una revisión o reparación en la zona de rodete, alabes, compuerta cilíndrica, etc.

La operación de estas compuertas se efectúa con una grúa viajera instalada en la parte alta de la galería, son del tipo deslizante y llevan una sección pequeña que se separa del resto de la compuerta para servir de "by-pass" y llenar la sección del tubo de aspiración y la carcaza para poder igualar las presiones aguas arriba con la de aguas abajo, en estas condiciones se levanta la compuerta y queda listo el turbogenerador para operar manualmente.



VERTEDOR DE DEMASIAS

Es la estructura que tiene como función poder controlar el nivel del vaso y evitar poner en riesgo la estabilidad de la cortina al verter por encima de ella, las partes principales de esta obra son: compuertas radiales, un juego de obturadores que sirven como compuerta auxiliar, una grúa pórtico para la operación en diferentes vanos de los obturadores y un sistema oleodinámico para la operación de las compuertas radiales el cual consiste en dos servomotores para cada compuerta y una central oleodinámica para cada 2 compuertas.

El montaje de estos elementos se hace por secciones de todo el ancho del vano y de diferentes alturas, en la zona de aguas abajo y sobre las pilas ó muros se montan las chumaceras y en ellas se fija el brazo inferior que posteriormente es ligado a la sección inferior de la compuerta, se continúan montando las secciones de compuerta, fijándose entre ellas por medio de soldadura, se continúa hasta instalar la sección que permita montar el segundo brazo entre chumacera y pantalla, se continúa con el procedimiento anterior el montaje de las secciones hasta colocar la última en la parte superior. Se instalan los servomotores que unen la compuerta y la chumacera sobre las pilas y muros y se conecta con tuberías a la central oleodinámica.

Los obturadores se probarán en cada uno de los vanos y se guardarán, el montaje de ellos se hace con el apoyo de la grúa pórtico.

MODERNIZACIÓN HIDROELÉCTRICA

Ing. Federico Mass Colomer

I. MODERNIZACIÓN HIDROELÉCTRICA

- La modernización hidroeléctrica es el resultado de la conjugación de acciones de rehabilitación, de repotenciación y de automatización/optimización.

REHABILITACIÓN

Es la reparación del equipo de generación hacia la condición original de forma a extender la vida útil y fiable del equipo aliado a la reducción de los costos de mantenimiento.

REPOTENCIACIÓN

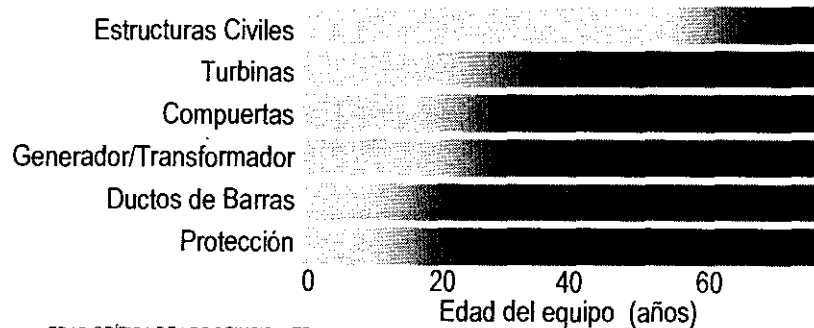
Aumento de la generación de energía del equipo a través de modificación y/o sustitución de componentes por otros de más eficiencia.

OPTIMIZACIÓN/AUTOMACIÓN

Produce energía adicional por la operación de la central de forma más eficiente.

II. MOTIVOS PARA LA MODERNIZACIÓN HIDROELÉCTRICA

I. CONFIABILIDAD FUTURA



EDAD CRÍTICA DE LOS PRINCIPALES
EQUIPOS DE LA CADENA DE
GENERACIÓN DE ENERGÍA
HIDROELÉCTRICA

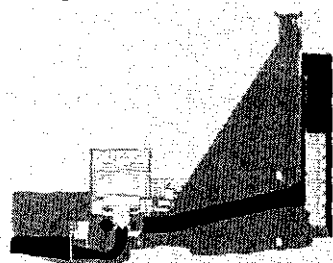
(EPRI Guidelines GS-6419)

Figura 1. Confiabilidad futura

2. COSTO DEL IMPACTO AMBIENTAL

Las presas tienen la toma de agua en la parte baja, en la que no se mezclan el agua y el oxígeno, el agua que es tomada por los ductos es la más profunda, y la más pobre, en oxígeno disuelto. Figura 2.

- **Presas en valles profundos desarrollan estratificación térmica..**
- **No hay mezcla del agua del fondo con la de la superficie.**
- **El agua profunda en la presa es pobre en oxígeno diluido.**



Toma de agua en el fondo de la presa.

Figura 2. Costo del Impacto Ambiental

En algunas presas deben garantizarse, aguas abajo, altos niveles de oxígeno, ya que representa vida acuática en la zona.

En algunos países se han detenido las centrales porque su salida de agua al río, donde hay vida, es muy pobre en oxígeno disuelto.

En México, se están incrementando los niveles de oxígeno disuelto, en las partes más bajas de las presas, a través de rodets de tecnología avanzada que aumentan los niveles de O_2

3. REDUCCIÓN EN LA EMISIÓN DE CARBONO

- El Protocolo de Kyoto, indica que la modernización/repotenciación puede ser incluida como fuente reductora de la emisión de carbono.
- Se obtiene la mezcla de aumento de vida útil de un aprovechamiento o aumento de potencia sin impacto ambiental adicional.
- Esto nos trae con la posibilidad de ganancias financieras adicionales con la venta de créditos de carbono en el mercado mundial.

Las presas antiguas no se incluyen en el Protocolo de Kyoto, porque ya estaban construidas cuando este se estableció, con la modernización de esas presas la situación puede cambiar y pueden ser incluidas.

4. IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES

Sistema de abatimiento del nivel en el tubo de aspiración

- Operación como condensador síncrono
- Mejores condiciones para reserva girante

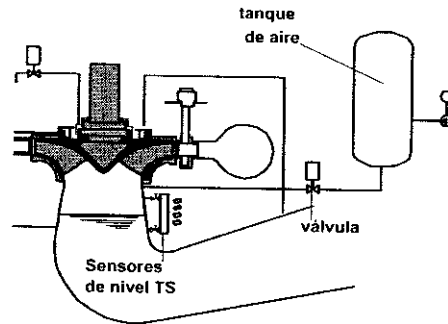


Figura 3. Implementación de servicios auxiliares

5. TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

La siguiente gráfica nos muestra la disminución de la producción de energía por la edad, llega un momento en que se vuelve crítico y puede haber una falla sin tener muchos años, y eso es lo mismo que les pasa a los equipos electromecánicos.

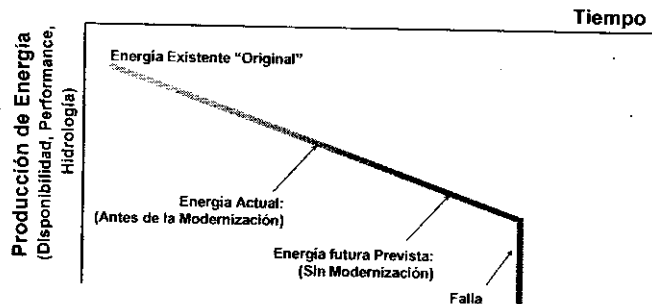


Figura 4. Tendencia de la producción de energía

III. BENEFICIOS ASOCIADOS A LA MODERNIZACIÓN

1. REHABILITACIÓN

Restaurar el equipo hacia la condición original SIN modificaciones para aumentar la eficiencia o potencia del equipo original. *Esto es alargar la vida útil de los equipos*

2. TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

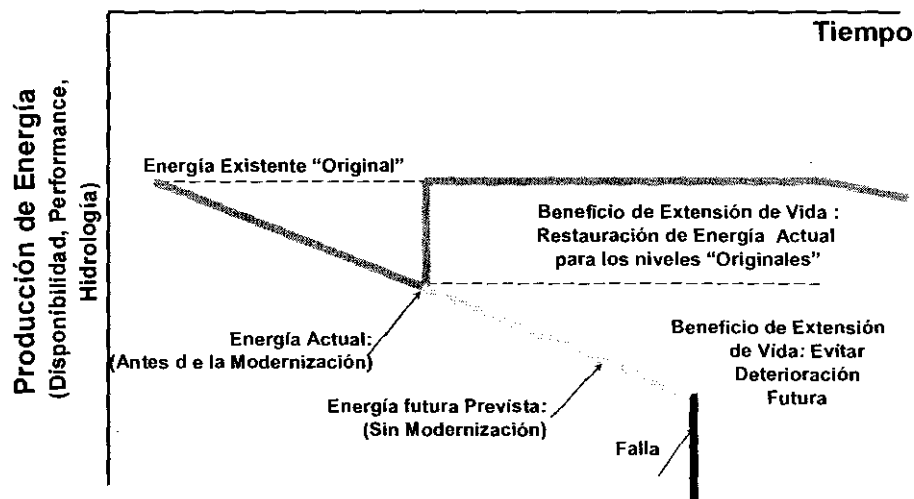


Figura 5. Tendencia de la producción de energía

3. BENEFICIOS DE LA REPOTENCIACIÓN

Sustituye o modifica componentes para aumentar la producción de energía. *Aumenta la capacidad original del equipo*

A un equipo se le pueden cambiar partes como los rodetes, los alabes, etcétera, eso le da *mayor eficiencia* y puede ser que mucho *mayor potencia*.

En la actualidad la utilización de herramientas de análisis numérico (CFD) ofrece la posibilidad de mejoras significativas en el diseño de turbinas.

Cuando la unidad llega a una edad crítica, en vez de tratar de subir la energía, para tener la energía original, se lleva, hoy técnicamente posible, a una potencia mayor y a una energía mayor que la original, cuando se instaló.

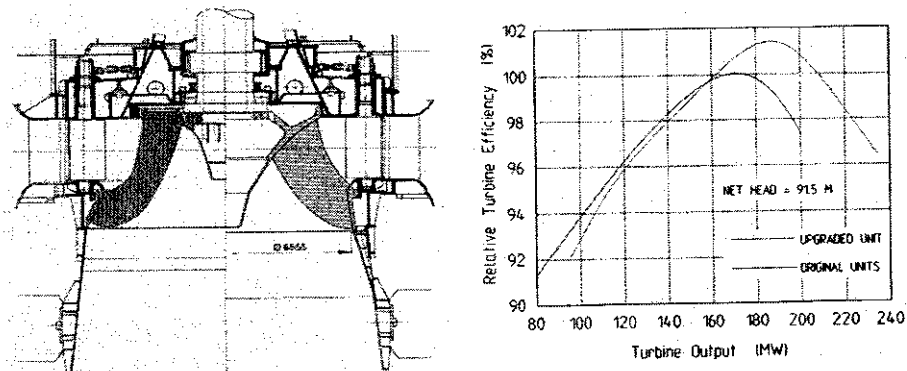


Figura 6. Beneficios de la Repotenciación

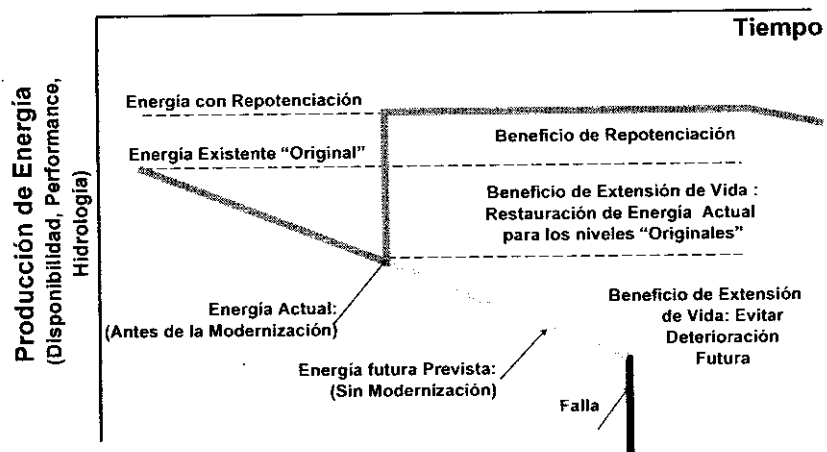


Figura 7. Beneficios de la Repotenciación

3. BENEFICIOS DE LA OPERACIÓN OPTIMIZADA

Operar las unidades de una central entre sí y llegar a una operación óptima de cada una de ellas para que trabajen en el óptimo es cuando se llega a tener mayor energía, y en este caso, en lugar de llegar a una energía de repotenciación se llega a una energía optimizada, que es mucho mayor que cuando se instaló la central.

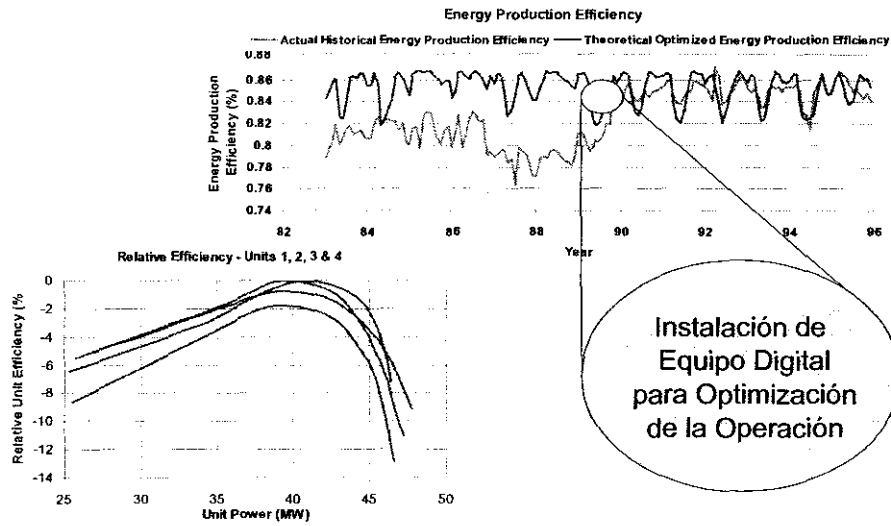


Figura 8. Beneficios de la Operación Optimizada

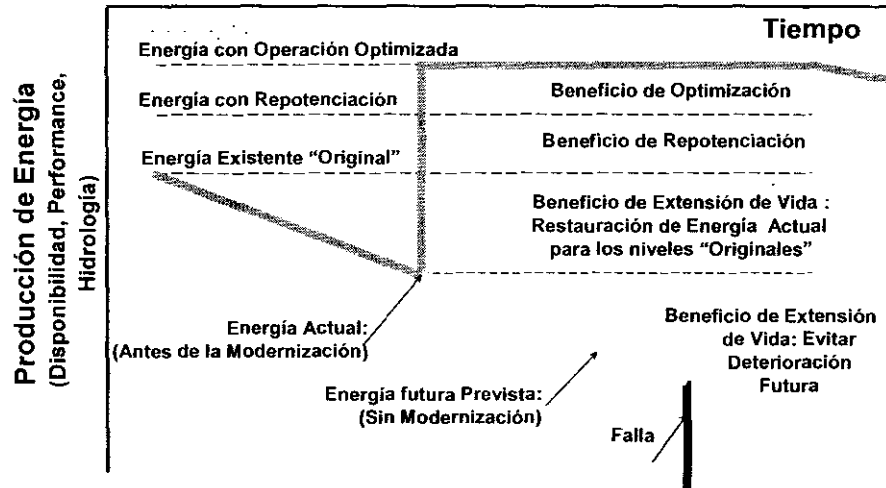
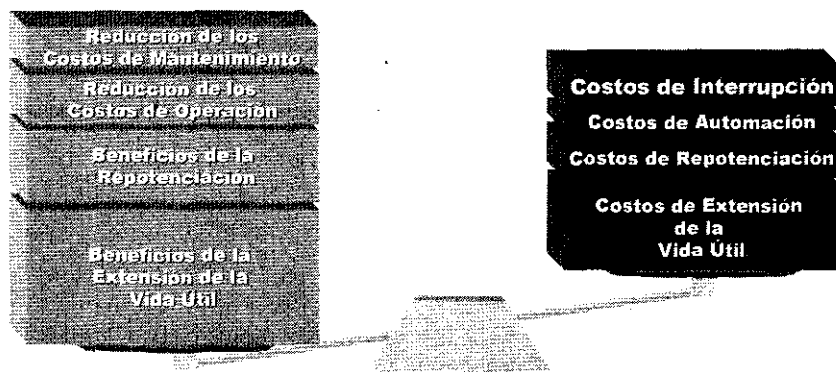


Figura 9. Beneficios de la Operación Optimizada

4. BENEFICIOS ECONÓMICOS

Es muy importante hacer una modernización completa a la central que nos permita reducir los costos de operación en donde obtengamos los beneficios de la repotenciación y los de la extensión de la vida útil, que son de mucho mayor peso que los costos de interrupción, de automatización, de repotenciación y de extensión de la vida útil

Aspectos Económicos Completos de Modernización



Considerar **TODOS** los costos juntamente con **TODOS** los beneficios representa el cuadro más precisamente y maximiza la relación costo- beneficio!

Figura 10. Beneficios económicos de la Modernización Hidroeléctrica

La gráfica siguiente nos muestra un ejemplo del análisis de optimización para la repotenciación, de una central que originalmente cuenta con 50 megawatts y se quiere rehabilitar. Es muy importante saber a donde se quiere llegar, por ejemplo subir de 50 a 60 megawatts una turbina.

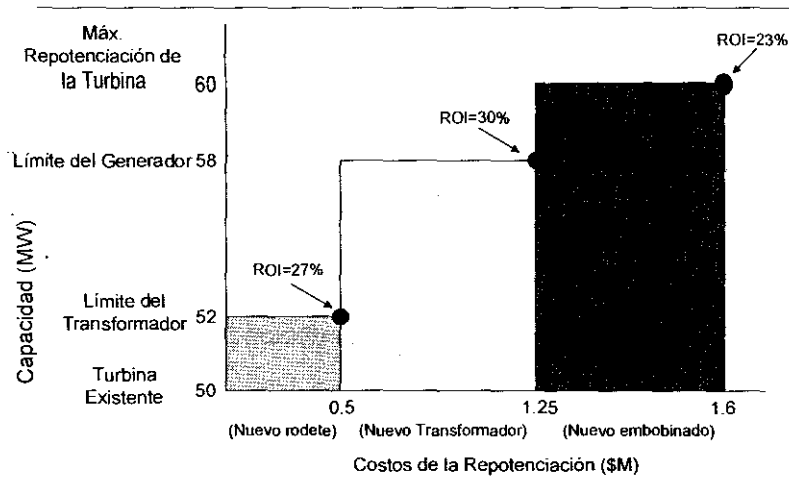


Figura 11. Ejemplo Simple del Análisis de Optimización para la Repotenciación

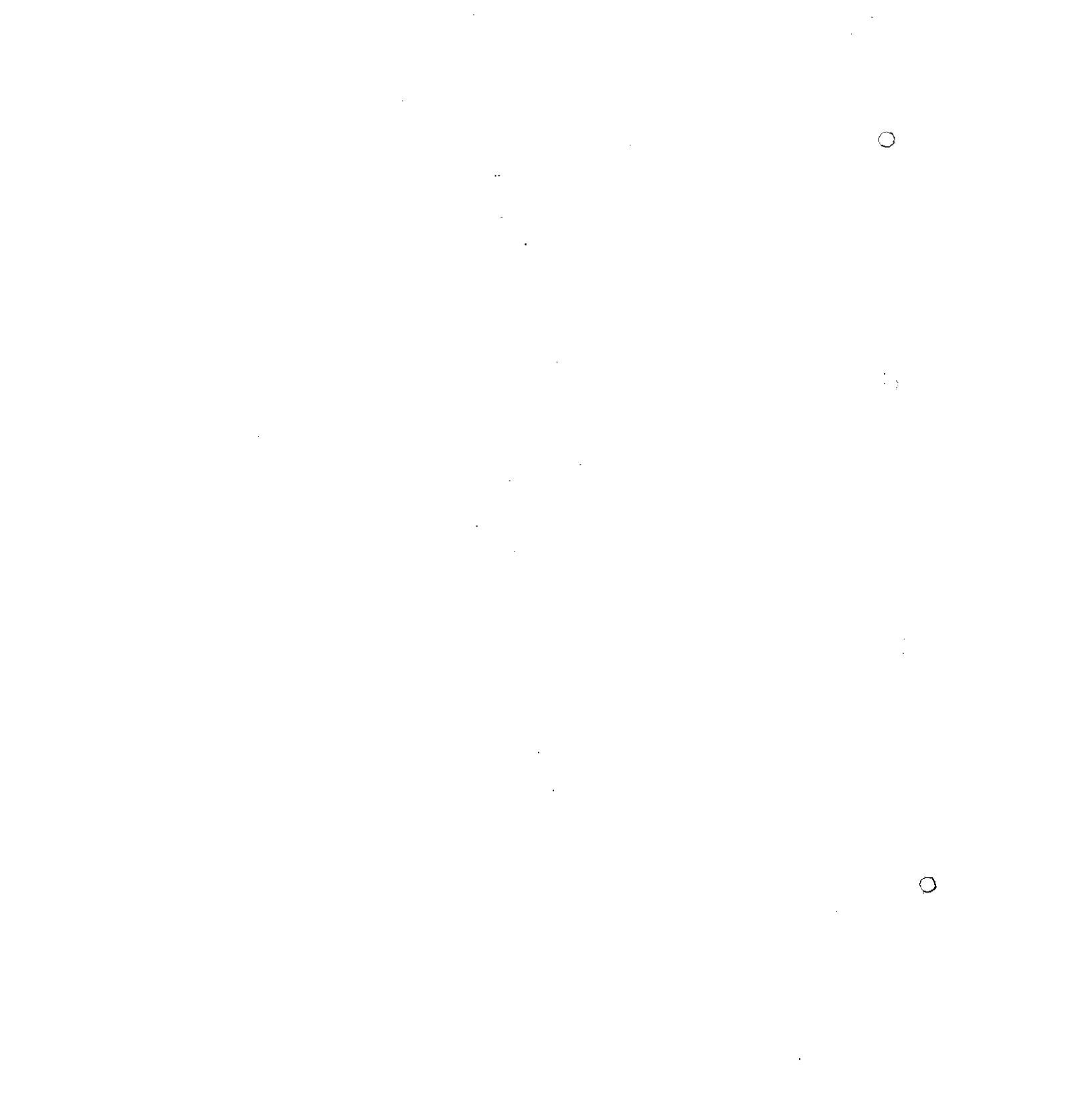
En todo el mundo se utiliza el recurso de rehabilitación y repotenciación de unidades para alargar la vida útil de los equipos (Modernización)

En México existen unidades generadoras hidroeléctricas con más de 20 años en operación que podrían ser objeto de una modernización. La capacidad actual de estas unidades es mayor a los 4000 MW.

Estas unidades se podrían modernizar para lograr un mejor aprovechamiento de la infraestructura existente y hacerlas trabajar de acuerdo con las necesidades actuales del sistema eléctrico nacional.

*Las Presas
y el Hombre*

Tendencias en el diseño de presas



TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE PRESAS

Dr. Humberto Marengo Mogollón

RESUMEN

Hay una gran experiencia en el diseño y construcción de presas en el mundo, sin embargo en los últimos años las tendencias en el diseño de las mismas están enfocadas a reducir significativamente los costos de estos proyectos. En éste artículo se presentan las tendencias que se siguen en México y en diversos países para lograr que las presas y los proyectos hidroeléctricos sean más seguros y al mismo tiempo cumplan con la funcionalidad para la cual fueron concebidos.

ANTECEDENTES

Es por medio de estos foros y reuniones técnicas que se ha progresado mundialmente en el diseño, construcción y operación de presas por lo que los comentarios expuestos a continuación permitirán intercambiar experiencias y vivencias a los ingenieros dedicados a esta apasionante actividad.

MARCO DE REFERENCIA

Hay algo majestuoso en una presa grande. Cuando Franklin Roosevelt inauguró la presa Hoover en 1935 estaba atónito y comentó: "Vine, vi y fui conquistado". Esta presa en los EEUU fue la primera de las muchas grandes presas de ese país y fue la presa más grande del mundo en su tiempo.

Hay muchas referencias de la necesidad de construcción de presas (Marengo, 1995, 1999) y, según los ingenieros, existen varias razones por las cuales deben construirse; sin embargo hoy en día se enfrentan varios obstáculos para su realización.

A pesar de ello, no hay sustitutos para las presas como componentes principales para el manejo de recursos hidráulicos. La Ingeniería de Presas representa hoy en día la punta de lanza en la ingeniería en los desarrollos regionales (Goodland, 1996).

No puede haber mejoramiento ambiental ni de los estándares de vida de la población en el futuro, sin la realización de importantes desarrollos adicionales de grandes proyectos de infraestructura hidráulica. En virtud de lo anterior las presas son imprescindibles.

En los últimos 100 años, los ingenieros han desarrollado metodologías que han permitido incrementar la disponibilidad de conducir, purificar y transportar el agua y suministrar la energía eléctrica.

En la actualidad se están construyendo presas de más de 300 m de altura y decenas de ellas están diseñadas o construidas con más de 200 m; cientos superan los 100 m, y sin contar las presas construidas en China, que se suponen en miles, existen en el mundo más de 100,000 incluyendo 36,000 grandes presas, que según el ICOLD (1989) son las que tienen más de 15 m de altura. Aunque también entran en esta categoría las que están entre 10 y 15 m, pero que cumplen con

alguna de las siguientes condiciones: longitud de cresta de 500 m por lo menos o descarga máxima de 2 000 m³/s, o bien condiciones complejas en la cimentación o diseño inusual de la presa.

Para los estudios de comportamiento de las presas se han reportado 15 800 grandes presas distribuidas en 33 países hasta 1975 (Marengo, 1998), como se muestra en la tabla (1), en la que se indican cuatro tipos de presas de concreto: gravedad (G), arco y arcos múltiples (A), contrafuertes (C), mampostería (M) y dos tipos de materiales sueltos: tierra (T) y enrocamiento (E). Cabe señalar el bajo porcentaje de presas de enrocamiento construidas hasta esa fecha en comparación con las de tierra, debido fundamentalmente a que el desarrollo de la mecánica de rocas ha sido reciente, por lo que no se habían escogido este tipo de presas.

En la actualidad, prácticamente en todos los países donde se construyen presas, la fuente de repago de las mismas proviene de las plantas hidroeléctricas, al ser la generación, un producto que se produce en forma constante y tiene siempre un consumo creciente. Así, para que sean satisfactorios sociales y que ambientalmente no causen grandes impactos, será necesario construir las nuevas presas en un futuro inmediato de tal manera que resulten económicamente factibles, socialmente deseables y ambientalmente sustentables. Cabe señalar que a la fecha, en diversos países, fundamentalmente en vías de desarrollo, hay un claro repunte en la construcción y licenciamiento de pequeños y medianos proyectos debido a que por una parte entró en vigor el tratado de Kyoto que impone serias restricciones en la producción de bióxido de carbono y por otra, los precios de los hidrocarburos han incrementado su valor significativamente durante el año de 2004 y 2005.

PRESAS ECONÓMICAMENTE FACTIBLES

El hecho de poder hacer esquemas factibles de presas y proyectos hidroeléctricos, forzosamente obliga a desarrollar esquemas económicamente competitivos con respecto a otras fuentes de almacenamiento de agua y generación de energía. Sin embargo se debe insistir en el concepto de construir presas de propósitos múltiples que permitan ofrecer un mejor desarrollo regional integral, como es el proyecto que actualmente ha desarrollado la CFE en La Parota, Gro. (CFE, 2005).

Para que esto suceda, es necesario que las presas cumplan con las funciones para las que fueron concebidas, y sean lo más económicas posible, cumpliendo también con los requisitos mínimos de seguridad, aspectos que deben cumplirse desde el diseño de las mismas.

ASPECTOS DE SEGURIDAD DE PRESAS.

La seguridad de presas ha despertado una preocupación plenamente justificada a nivel mundial, ya que la súbita liberación de miles de toneladas de agua sobre asentamientos humanos importantes puede causar enormes pérdidas humanas y materiales, además de graves daños al medio ambiente. Por lo que se concluye en forma generalizada que las presas no deben fallar (Marengo, 1998a).

Un análisis de seguridad permitirá (Marengo, 1994), sin duda, construir presas más seguras y económicas, corregir algunas de las construidas con criterios audaces y tomar en cuenta la confiabilidad que deben tener estructuras temporales como las obras de desvío.

La seguridad por sí misma debe ser una consideración de gran importancia para el ingeniero (Marengo, 1998), ya que deben tomarse en cuenta todos los factores que razonablemente pueden

ser identificados. De hecho, la seguridad de presas depende de tres factores predominantes: diseño, calidad de construcción y mantenimiento - operación.

Aunque parezca obvio, remover o restar la importancia que cada uno tiene, es tener una catástrofe potencial.

En cuanto al diseño, los criterios usuales de factores de seguridad están empezando a ser cuestionados empleándose cada vez más los criterios probabilísticos. Éstos son más científicos y el concepto de confiabilidad está inherente, aunque algunos expertos aún no lo consideran aceptado por la profesión. Sin embargo, hoy en día, se están haciendo esfuerzos importantes para que puedan adoptarse en el diseño de presas y en la revisión de algunas de las ya construidas, lo cual permitirá sin duda tomar las medidas necesarias para que las nuevas presas sean más seguras y económicas, y se tomen las medidas pertinentes para que las ya construidas también resulten así.

Es importante mencionar que en la etapa de diseño, como sucede en otros países, debe implantarse un panel que revise el diseño del consultor o grupo que lo efectúa y que además lo haga oportunamente para que las medidas, que se consideren necesarias, se puedan llevar a cabo.

La construcción es probablemente el aspecto más difícil de todos ya que en la gran mayoría de estas obras existen compromisos políticos y sociales que obligan a cumplir un programa en tiempo y costo, que en muchas de las ocasiones no son compatibles con la calidad requerida en las bases de diseño y la realidad de la obra. Además, la mayoría de las veces el grado de supervisión varía enormemente de un país a otro y aún presenta diferencias dentro de una misma institución; por ejemplo, muchos clientes piensan que pagar una supervisión adecuada es superfluo, lo cual puede acarrear graves consecuencias.

En cuanto al mantenimiento y la operación; el grupo de diseño o consultor así como el supervisor deben formar parte del comité de inspección de la presa que está revisando y operando, ya que conocen y están íntimamente ligados con el proyecto en sí y los detalles que lo componen. De esta manera el monitoreo y verificación del comportamiento de la estructura pueden ser verdaderamente efectivos.

Lamentablemente estos aspectos no se consideran actualmente en muchos países, y se toman en cuenta sólo cuando aparecen fenómenos extremos o crisis.

TENDENCIAS DE DISEÑO QUE PERMITE HACER OBRAS ECONÓMICAMENTE FACTIBLES

AVENIDAS DE DISEÑO

Dentro de los métodos que se usan para la estimación de avenidas de diseño están los empíricos, el análisis de frecuencia de avenidas y el enfoque meteorológico.

Todos ellos han sido sujetos de numerosos estudios y comentarios, aunque cabe aclarar que el ICOLD (1992) menciona que se debe prestar especial atención en recabar todos los datos posibles de las cuencas en estudio, y que las agencias deberán hacer énfasis en estimar con todos los métodos posibles las avenidas de diseño, ya que pueden presentarse estimaciones que son complementarias entre los diversos métodos en estudio. En este aspecto, cabe señalar, la necesidad de optimizar los esquemas de obra como se han hecho en diversas partes del mundo, y

ahora en nuestro país (CFE, 2005), para excavar con un mismo canal de llamada las obras de generación y excedencias. Desde este punto de vista, el hecho de profundizar los canales de llamada de la obra de excedencias permitirá tener un mejor diseño hidráulico del vertedor, así como extraer roca más barata para el cuerpo de la cortina.

OBRAS DE DESVÍO

En un examen global, de acuerdo con la práctica usual de la ingeniería, se considera que las obras de desvío se diseñan desde el punto de vista hidrológico con períodos de retorno que oscilan entre 30 y 50 años para las presas de tierra y enrocamiento, y periodos de retorno de 10 a 20 años para las presas de concreto.

En una revisión, hecha por (Marengo, 2005), se constató que en la mayoría de los casos, en los que han ocurrido fallas en las obras de desvío, los niveles de seguridad adoptados fueron solamente una pequeña fracción de los requeridos comparados con los que se consideraron al término de la construcción de las presas. Sólo 5 proyectos de los 90 revisados tuvieron obras de desvío con la capacidad congruente y con un nivel de seguridad similar entre la obra de desvío y la de excedencias (vertedor).

Los aspectos relevantes, que indica Marengo (2005), del porqué se le da tan poca atención a la seguridad de presas durante la construcción son:

- El problema se ha analizado tradicionalmente como los daños que se pueden ocasionar aguas abajo de la presa en construcción. Sin embargo debería considerarse, además de los daños ocasionados a las propias estructuras, la pérdida económica por generación de energía cuando sea éste el propósito de la presa, ya que en ocasiones el costo de la misma puede ser muy significativo.
- En muchas ocasiones, los daños causados se consideran responsabilidad del constructor, sin importar las consecuencias.
- Hay una noción irracional de que la avenida máxima de diseño no puede presentarse debido al corto periodo de tiempo que dura la construcción.

Sin embargo, las consideraciones anteriores son totalmente contrarias a la evidencia hidrológica; muchas avenidas extremas destructivas han ocurrido durante la construcción de grandes presas, tales como Kariba, Oros, Aldelavilla, Akocombo, Cahora Bassa, Tarbela y Aguamilpa en 1992.

En algunos de los casos mencionados se presentaron avenidas del orden de $2/3$ de la PMP o de la AMP¹ que causaron daños severos y rebasaron de manera significativa las obras de

¹/PMP Es la Precipitación Máxima Probable y AMP es la Avenida Máxima Probable.

protección. Una notable excepción (Fahlbusch, 1999) fue hecho en la presa Mangla, donde la obra de desvío se diseñó para un periodo de retorno de 1000 años.

De hecho, las obras de desvío (Marengo, 2005) deben diseñarse de tal manera que las avenidas de diseño puedan pasar por la obra sin que se tengan graves daños en la misma y que la población, que se encuentra aguas abajo de la presa en construcción, quede protegida.

En un estudio del Riesgo de Falla por Desbordamiento de Aguamilpa en 1992 Marengo (1998b), encontró que los sucesos presentados ocasionaron un escurrimiento que causó una falla total por desbordamiento de la ataguía, la cual no fue catastrófica debido a que el avance de la presa (cortina) era considerable y permitió que el recinto entre la ataguía y la cortina se llenara equilibrando las presiones. Este estudio permitió definir que la probabilidad de falla real del sistema arrojó: i) valores de falla ($T_r=126$ años) que son 2,5 veces superiores a los obtenidos con el criterio determinístico ($T_r=50$ años); ii) las condiciones que realmente se presentaron en el sitio, con un gasto de $9\,334\text{ m}^3/\text{s}$ y elevación del embalse a la $123,60\text{ msnm}$, correspondieron a un período de retorno $T_r=311$ años, valor fuera de lo usual para este tipo de diseños; iii) al estudiar las aplicaciones constructivas, que se consideraron de fácil aplicación, se encontró que con las condiciones originales de diseño (ataguía de 55 m de altura y túneles excavados en roca de $16,00\text{ m}$ de ancho), con sólo colocar concreto hidráulico en la plantilla, el período de retorno pasa de 126 años a 168 años; iv) al colocar además del concreto hidráulico en la plantilla, concreto lanzado en paredes y bóveda, se alcanza un período de retorno conjunto de 433 años, con el cual el esquema original hubiera permitido transitar la avenida sin presentarse el desbordamiento.

La aplicación de estos estudios (Marengo, 2005) ha permitido que en la CFE se construyeran en el P.H. El Cajón túneles con rugosidad compuesta (figura 1) -criterio novedoso a nivel mundial- que permitió ahorrar un túnel de desvío de $14 \times 14\text{ m}$ (con un costo estimado de 25 millones de dólares) e incrementar la seguridad de la obra de desvío al alcanzarse una avenida de diseño de $8\,301\text{ m}^3/\text{s}$ (asociada a un periodo de recurrencia de 100 años). Esta práctica se recomienda ampliamente en futuros proyectos.

COSTOS DE LAS PRESAS

A la fecha, las tendencias en el diseño y construcción de presas se está modificando significativamente; las presas de gravedad con concreto convencional han dejado su lugar a las presas construidas con concreto compactado con rodillos (CCR), las de materiales graduados han dejado su lugar a las presas de enrocamiento con cara de concreto (ECC) y en valles estrechos, se seguirán construyendo presas de arco bóveda.

La razón fundamental de estas tendencias es definitivamente el costo de las mismas, ya que mientras 1 m^3 de concreto convencional puede costar del orden de $150\text{ USD}/\text{m}^3$, las de CCR alcanzan valores promedio de $70\text{ USD}/\text{m}^3$. En China, en la presa de Longtan de $7\,500\,000\text{ m}^3$, se está colocando el CCR con un precio de $40\text{ USD}/\text{m}^3$.

Por otra parte, la presa de La Miel en Colombia, de 187 m de altura ha establecido la posibilidad de construir éste tipo de presas con alturas del orden de 200 m o superiores.

Todavía se plantean esquemas de construcción con presas de materiales graduados, sin embargo las presas de enrocamiento con cara de concreto ofrecen esquemas muy confiables y con volúmenes menores de colocación.

El ejemplo más ilustrativo es en el P.H. La Parota, Gro; la cortina de materiales graduados arrojó una volumetría de 18 505 467 m³ y el volumen de la cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto es de 13 837 051 m³. La reducción del 34 % del volumen de la cortina permite ofrecer un ahorro del orden de los 50 millones de dólares en el costo total del proyecto, cumpliendo además con la premisa de la seguridad.

PRESAS DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO (ECC)

Existen características de seguridad inherentes en la ingeniería de presas ECC que hacen al diseño empírico de este tipo de presas muy aceptable. Estas características son (ICOLD, 2000):

- Todo el enrocamiento zonificado está aguas abajo del embalse.
- La carga de agua en la cara de concreto comienza en la cimentación aguas arriba del eje de la presa.
- La subpresión y la presión de poro no existen.
- Hay una gran confiabilidad contra fuerza cortante del enrocamiento
- Hay una alta resistencia sísmica del enrocamiento
- El enrocamiento zonificado es estable contra el flujo.

De hecho Cooke en el simposio de Beijing (ICOLD, 2000) concluyó que:

“La presa de ECC resulta apropiada en el futuro de las presas de gran altura. Se puede predecir un desempeño adecuado para una presa de ECC de 300 m de altura de casi todos los tipos de roca, basado en la extrapolación razonable de mediciones de las presas existentes.”

Esta conclusión se tiene que cambiar ya que no hay experiencia en presas de 300 m de altura, sin embargo las alturas máximas eran de Cethana 110 m, Anchicaya 140 m y Arcia 160 m. Desde 1985, Aguamilpa y TSQ1 han estado próximas a 190 m; hoy en día se diseñan y construyen presas de ECC de más de 200 m de altura Shibuya, (233 m en China), La Yesca (210 m en México) y Campos Nuevos (Brasil, 196 m).

La característica de que “la zona de enrocamiento es sólida contra el flujo” ha sido importante para la economía de la presa de ECC. Con tal conocimiento se ha tenido que disminuir el espesor del bloque y el porcentaje del acero de refuerzo, aún cuando la presa sea más alta, ya que la filtración no involucra a la seguridad.

La filtración en su caso, puede limitarse y se puede sellar considerablemente al depositar arena fina sucia como se hace actualmente en Aguamilpa (México).

Dos ejemplos de episodios de filtración son:

En **Bailey** (95 m) donde la filtración de aproximadamente 300 l/s se redujo a 30 l/s al vaciar costales de una mezcla de arena de menos 3 mm con 30 % de limo en el área de la fractura local cerca del plinto.

En **Shiroro** (Nigeria 130 m) la filtración de 1,7 m³/s se redujo a 100 l/s al colocar una mezcla bombeada de la misma combinación de la usada en la presa Bailey.

Otra cita de la ponencia de Cooke (2000) es:

“...para presas futuras de gran altura se tomarán en cuenta detalles más prudentes para el material procesado semi-permeable, directamente por debajo de la cara del bloque”.

Esto ha ocurrido y deberán considerarse modificaciones posteriores de poca importancia en las presas futuras de gran altura. Los cambios se han realizado con el propósito de utilizar materiales de menor tamaño a fin de facilitar la construcción y disminuir la permeabilidad en caso de fracturas en la cara. Se utiliza material de transición (arena fina y arena graduada con valores máximos de 3,81 cm de grava).

En el empalme del perímetro, en El P.H. El Cajón, México, se ha colocado una zona 2A de 3 m de espesor tamaño de grava menor a 19 mm de filtro procesado, que en caso de que se tengan problemas en el empalme del perímetro, ayudará a sellar de manera más confiable por medio del limo natural o el depósito de limo fino.

El diseño básico de presas de ECC es muy similar para todas las presas. Existen tres elementos básicos: el plinto, la sección de enrocamiento zonificada y la cara de concreto.

El plinto es el elemento impermeable fundamental entre la cara de concreto y roca; que debe soportar gradientes hidráulicos del orden de 20. En roca no erosionable el tratamiento de cimentación es relativamente sencillo; en la roca con posibles características de erosión es necesaria una atención geotécnica meticulosa a fin de rellenar, sellar e impermeabilizar la roca aguas abajo del mismo.

La sección de enrocamiento es el elemento estructural. Está zonificada a fin de recibir la carga de agua con mínimos asentamientos y proporcionar seguridad al enrocamiento contra flujo en caso de filtraciones en la cara de concreto. Por lo tanto, el enrocamiento zonificado aceptará de manera segura, varias veces, cualquier filtración de la cara que pueda ocurrir. En la cortina del PH El Cajón, fue posible aceptar un material de transición con tamaño de 1 m de espesor en las capas aguas abajo del material 3B que permitió tener ahorros en el procesamiento y colocación del material del orden de los 15 millones de dólares.

La cara de concreto es la característica impermeable. Puede ser hermética, pero pueden ocurrir filtraciones en el empalme del perímetro y en las fracturas de la cara.

Las filtraciones en la cara pueden ser aceptadas o se pueden reducir con un cierto costo, sin embargo no están involucradas con la seguridad de la presa.

Los incidentes actuales que han ocasionado filtraciones en las fracturas de la cara de concreto y el perímetro, no ha llevado a los especialistas a considerar cambios importantes en éste aspecto. La práctica en el diseño para la siguiente generación de presas superiores a los 200 m de altura no será muy diferente a la que actualmente está establecida. Algunos comentarios generales de los tres elementos de diseño de las presas más altas son:

El plinto. La práctica actual del tratamiento de cimentación es bastante cuidadosa en, y aguas abajo del plinto, la cual continuará. La nueva condición de presión superior que se ha experimentado en la cimentación indicará que se dará mayor atención al tratamiento de cimentación en la parte más baja de los empotramientos y la cimentación.

El enrocamiento. Se han realizado prácticas para tratar cada zona en la misma capa de espesor y compactación. Debido a que las presas más altas serán muy grandes, un área selectiva cerca de los empotramientos tendrá especificaciones para dar módulos superiores en vez de

incrementar la compactación y el costo para todo el enrocamiento. No se ha tenido experiencia que sugiera algún cambio del rodillo vibratorio de 10 toneladas. La experiencia ha demostrado contornos graduales y pequeños asentamientos en las presas más altas. En todas las áreas sometidas a alta presión y sobre los empotramientos de aproximadamente 15 m se debe usar la zona de filtro fino en vez de utilizarla sólo cerca del empalme del perímetro.

La cara de concreto. La siguiente fórmula para el espesor de la cara de concreto de $t = 0,30 + 0,002H$ ha resultado satisfactoria y lo seguirá siendo. Lo mismo se puede decir para los porcentajes de refuerzo actuales 0,3 horizontal y 0,35 ó 0,4 vertical y 0,4 para ambos lados dentro de los 15 m del empalme del perímetro. Numerosas experiencias se han tenido en cuanto a fracturas dentro de los 20 m del perímetro, o en un cambio en la pendiente del plinto y cerca de la misma de pronunciada a relativamente plana sobre la pendiente. Esto ha resultado en fracturas y pueden justificar la colocación del 0,5 por ciento de acero a cada lado en dicho lugar.

El diseño de la cara de concreto de La Parota, ha llevado a la CFE a la posibilidad de considerar juntas horizontales que permitan absorber los desplazamientos de la losa ante sismos de gran intensidad para el que la presa fue diseñada.

Algunas conclusiones generales en presas ECC futuras mayores a 150 m de altura son:

- Su seguridad está asegurada.
- Puede haber algunas fracturas en la cara y filtraciones consecuentes.
- El enrocamiento semi-permeable de la zona de la cara limitará la magnitud de la filtración.
- La filtración puede ser considerablemente sellada al colocar arena fina de limo por debajo del agua.
- Se prevén pequeños cambios en la práctica del diseño actual.

REFERENCIAS

- ◆ Comisión Federal de Electricidad; PH La Parota, Esquema de Ingeniería Básica, 2005.
- ◆ Fahlbusch, F. E. 1999. "Spillway Design Floods and Dam Safety". *Hydropower and Dams*, 4,125.
- ◆ -Goodland E. *The environmental systemability Challenge for hydro industry* International Journal on Hydro Power & Dams, Issue One, 1996.
- ◆ International Commission on Large Dams, ICOLD Center Office, Paris, France; 1989. *WORLD REGISTER OF DAMS – Updating*.
- ◆ International Commission on Large Dams, ICOLD Center Office, Paris, France; 1992. *SELECTION OF DESIGN FLOOD–Bulletin 82*.

- ◆ International Commission on Large Dams, 20th Congress and Beijing 2000 Symposium on Concrete Face Rockfill Dams; Beijing, China, 2000.
- ◆ Marengo M., H., ANALISIS DE RIESGO DE FALLA EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO ANTE AVENIDAS, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D.F. Enero, 1994.
- ◆ Marengo M., H., LA INGENIERÍA DE PRESAS Y LA HIDROGENERACIÓN EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS, Revista de Ingeniería Civil no. 312. pp 19-25 y no. 313, pp 32-35, Abril y Mayo 1995.
- ◆ Marengo M., H., CONSIDERACIONES ACERCA DE LA SEGURIDAD EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO (CON ÉNFASIS ANTE AVENIDAS DE DISEÑO). Ingeniería Hidráulica en México Vol. XIII, Núm. 1, pp 61-75, enero-abril de 1998a.
- ◆ Marengo M. H.- ANÁLISIS DEL RIESGO DE FALLA POR DESBORDAMIENTO DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN DEL P.H. AGUAMILPA DURANTE LAS AVENIDAS EXTRA-ORDINARIAS DE ENERO, 1992, Documento de ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería, México DF. 1998b.
- ◆ Marengo M., H., EL FUTURO DE LAS PRESAS, Memorias de EL DESARROLLO DE LAS PRESAS, Avances en Hidráulica 5, Asociación Mexicana de Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México, 1999.
- ◆ Marengo M., H., CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN TÚNELES DE CONDUCCIÓN EN SECCIÓN BAÚL CONSIDERANDO RUGOSIDADES COMPUESTAS. Libro en impresión Fundación ICA, Registro ISBN 968-5520-14-3, México D.F., 2005

TIERRA Y ENROCAMIENTO 10 650 (67,4%)			CONCRETO Y MAMPOSTERIA 5 150 (32,6%)		
	E	G	A	C	M
9 890	760	3 970	760	280	140
(62,6%)	(4,8%)	(25,1%)	(4,8%)	(1,8%)	(0,9%)

TABLA I.
Distribución de 15 800 grandes presas construidas en el mundo, por tipo de presa.



Figura 1.
Túnel de rugosidad compuesta del P.H El Cajón, vista hacia aguas arriba.

PRESAS DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO, TENDENCIAS MODERNAS DE DISEÑO.

Nelson L. de S. Pinto

RESUMEN

Las presas de enrocado con cara de concreto tienen un diseño esencialmente empírico. Concebidas por los mineros de California en el "gold rush" de 1860 - 70, consistían de un terraplén de enrocado lanzado y un tablero de madera como cara impermeable. Con la evolución de presas más altas y definitivas, el concreto reemplazó la madera. En los años 1960, el enrocado compactado reemplazó el lanzado, su módulo de deformación sencillamente mayor permitiendo desarrollar presas de grandes alturas en el rango de 150 a 200 m o aún más altas. La presa de Shuibuya, en construcción en China, alcanzará la altura de 230 m.

El concepto de la presa es próximo al ideal: una estructura altamente resistente de enrocado (o grava), naturalmente drenada, y la membrana impermeable tan aguas arriba cuanto sea posible. La resultante de la fuerza de presión del agua cae en el tercio de aguas arriba de la cortina. No hay problemas de estabilidad. La cuestión mayor de diseño es la compatibilidad losa de concreto - enrocado. El diseño moderno procura limitar y disciplinar la deformación del enrocado resultante de la acción del reservatório y definir los detalles de las juntas de la losa para garantizar esta compatibilidad.

Esta presentación trata de algunos temas seleccionados relativos a tendencias recientes de diseño.

DEFORMACIONES DEL ENROCADO

La interpretación del desempeño de las presas en operación es la mejor arma para el perfeccionamiento del diseño. Los cálculos numéricos más avanzados, como los modelos FEM, son elásticos utilizando las leyes tensión-deformación de Duncan y otros, son útiles en análisis paramétricos pero no reproducen los aspectos críticos de deformación del enrocado que se reflejan en el desempeño de la obra.

La carga hidráulica sobre la cara de la presa produce una deformación del enrocado esencialmente normal al plano de la face. La deformación mayor tiende a situarse en el centro de la losa a una altura cercana de 0,4 H del fondo. La mayor parte de la cara es colocada en compresión. Cuando el agua atinge su nivel máximo, se observa una tendencia a una deformación mayor cerca de la cresta. Esta deformación, en las presas más altas y en vales anchos, puede suplantar la deformación a 0,4 H. Esta variación de tendencia de deformación indica que la cara de aguas arriba del enrocado se mete en tensión en la zona superior. Como la cara de concreto acompaña la deformación del enrocado, la losa sufre tensión y se puede agrietar si la deformación específica supera los 10^{-4} .

La retención del enrocado a lo largo del perímetro de la cara, a causa de la geometría de la fundación, es otro mecanismo responsable por tensiones en la superficie del enrocado y en consecuencia en la losa. Las juntas verticales en las losas y la junta perimetral permiten aliviar las tensiones. La abertura consecuente de las juntas exige sellos bien concebidos y dimensionados.

La zonificación del enrocado se diseña para minimizar las áreas de la cara en tensión (perímetro y cresta) y reducir cuanto posible los valores mismos de la tensión en estas zonas críticas.

ZONIFICACIÓN DEL ENROCADO

Las tendencias actuales de zonificación del enrocado son resumidas a continuación:

- Utilización del bordillo de concreto extrusado para delimitar la cara aguas arriba de la cortina y confinar el material de transición 2B para su compactación.
- Material de transición 2B, diámetro máximo 75 mm, granulometría Sherard, menos de 5% pasando el tamis N° 200, compactado en capas de 0,4 a 0,5 m de espesor. Ancho de 4 a 6 m, 4 pasadas del rodillo de 10 ton.
- Material de transición especial 2A por debajo de la junta perimetral, diámetro máximo de 25 – 32 mm con propiedad de filtro al limo o ceniza.
- Material de transición 3A, enrocado con diámetro máximo de 0,4 – 0,5 m, compactado en capas de 0,4 – 0,5 m, ancho de 4 m, 4 pasadas, rodillo de 10 ton.
- Zona 3B – Enrocado, diámetro máximo 0,8 – 1,0 m, en capas de 0,8 – 1,0 m, compactados con rodillo 12 ton, en 6 pasadas con 150-200 litros de agua por m³ de enrocado, en el tercio de aguas arriba de la sección del terraplén.
- Zona T – Material similar al de la zona 3B, de características de deformación semejantes, con adición de agua, en zona delimitada por una inclinación hasta aguas abajo de 0,3:1 a 0,5:1, para reducir la deformación de la cresta de la presa para el embalse en su nivel máximo.
- Zona 3C. Enrocado con diámetro máximo de 1,6 m, compactado en capas de 1,6 – 2,0 m, con cuatro pasadas de rodillo de 12 ton, con o sin agua.

LOSA

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.

- Juntas verticales a cada 15 – 16 m.
- Espesor:
 - para $H < 100$ m, $e = 0,3 + 0,002 H$ (m)
 - para $H > 100$ m, $e = 0,005 H$ (m)
- Armado
 - barras verticales – 0,4% de la sección teórica
 - barras horizontales – 0,3% de la sección teórica

El armado es aplicado en lecho único al centro de la losa. Dos lechos son recomendables en una banda de 12 – 15 m de ancho cerca de estribos muy escarpados en presas de alturas

superiores a 100 m. Para presas de 150 m de altura o más, incrementar el acero a 0,5% en las dos direcciones en una banda de cerca de 15 m de ancho a lo largo del plinto.

- Sellos de cobre al fondo de la losa en todas las juntas verticales y en la junta perimetral.
- Sello superior en la junta perimetral y juntas verticales cerca de los estribos con tendencia a abrir. El sello superior puede ser de tipos diversos:
- Membrana de caucho reforzado sobre relleno de “mastic”
- Llenado de ceniza contenido por media caña de acero perforado galvanizado.
- Sello de cobre aplicado sobre la junta.
- Sello de caucho reforzado-corrugado aplicado sobre la junta.
- O, aún, una combinación de estos. Las zonas bajas de las juntas son aún cubiertas de material fino, arena limosa, para un efecto de colmatación en caso de filtraciones.

PLINTO

El concepto del plinto interno es recomendable en presas altas en valles o boquillas angostas para la economía de excavación. Un plinto básico externo de 4-5 m de ancho es definido para todo el perímetro de la cara, a partir del cual se hacen las inyecciones de cemento de la pantalla. La longitud total definida por el gradiente de percolación especificado es obtenido por una extensión interna de la losa del plinto, en general armada con espesor de 0,3 m. El gradiente de percolación puede ser tan alto cuanto $H/L=20$ para rocas resistentes y sanas, hasta 2 a 4 en saprolitos y rocas muy friables.

MANEJO DEL RIO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Previamente a la construcción de la losa la presa de enrocado, con su cara definida por los elementos del bordillo extrudado, las zonas de transición 2B y 3A, y la zonificación 3B – T – 3C, puede recibir una carga hidráulica aguas arriba sin riesgo a su estabilidad. El gradiente de permeabilidades crecientes en el sentido del flujo garantiza el control de la línea piezométrica. Se puede, en el manejo del río, hacer buen uso de esta propiedad, con economías en la atagua y obras de desvío.

La atagua de aguas arriba puede ser definida para un riesgo anual relativamente elevado: 1:10 – 1:20. Si los plintos son ejecutados en cuanto se perforan los túneles de desvío, la sección de aguas arriba del enrocado puede ser construida rápidamente con el desvío, hasta una altura que garantice la obra para una crecida, digamos de 500 años de periodo de retorno. Esta sección prioritaria de la presa principal se torna su propia atagua.

Para minimizar las consecuencias de un transborde de la atagua de aguas arriba, antes del termino de construcción de la losa y pantalla de inyecciones, un dique fusible puede ser previsto para permitir la inundación del recinto atagua – cortina, sin la destrucción de la atagua. Un simple bombeo y alguna limpieza permitirán el reinicio de los trabajos.

Una comprobación de la operabilidad de los diques fusibles fue experimentada en la presa de CCR de Salto Caxias en el río Iguazú en Brasil. En esta presa se comprobó el uso del concreto compactado con rodillo para la implantación de un vertedero a gravedad con capacidad de 49 000 m³/s, controlado por 14 compuertas radiales de 16,5 x 20 m. Durante el tiempo del desvío del río, se registraron 5 eventos de rompimiento del dique fusible. La operación fue siempre muy sencilla y los tiempos perdidos de trabajo de pocos días sin mayor impacto en el cronograma.

TENDENCIAS CONSTRUCTIVAS RECIENTES

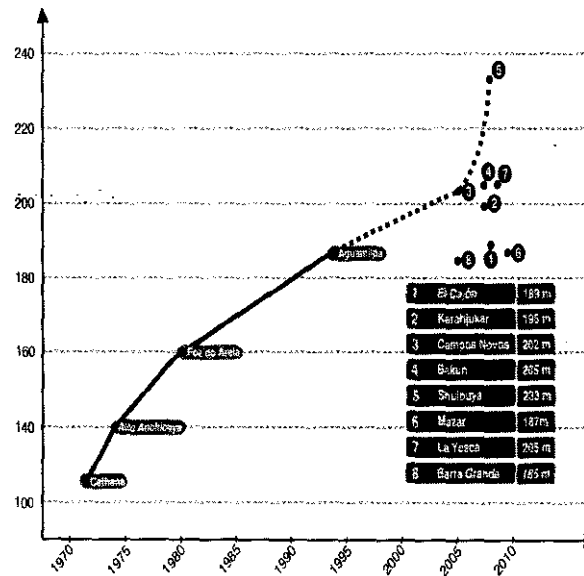
Dr. Bayardo Materón Narvaez

Este trabajo se refiere a los últimos cuarenta años de las presas de concreto y con cara de concreto, aunadas al descubrimiento de los compactadores de concreto vibratorio realizado en 1965, coincidente con la fundación de la Asociación Mexicana de Hidráulica.

Las presas de enrocamiento y, en especial, las de enrocamiento con cara de concreto, han incrementado su altura debido a la mejora en la productividad constructiva originada con el surgimiento de los compactadores vibratorios en la década de 1960; de manera similar las presas de concreto han presentado un extraordinario progreso con la introducción del compactado con cilindros vibratorios.

Se presentan algunos ejemplos de las innovaciones constructivas, enfatizando el progreso de las mismas y la evolución de las técnicas constructivas.

En la gráfica se presenta como la altura de las presas Cetanha, Alto Anchicayá, Foz de Areia y Aguamilpa han mostrado un crecimiento de 110, 140, 160 y 188 metros, respectivamente. Aguamilpa es la presa más alta del mundo en su tipo en operación, contándose, de 1993 a 2005, un surgimiento de nuevas presas como El Cajón y otras que también se muestran y que se encuentran en construcción o a punto de operar en diversas partes del mundo.

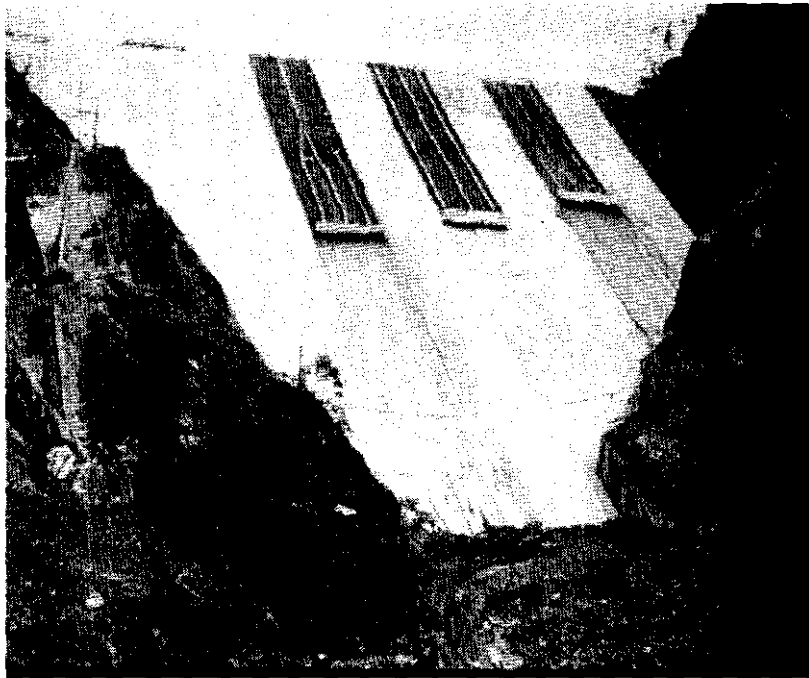


La concentración de puntos en la gráfica, en el lustro de 2005 a 2010, nos permite observar la tendencia de construcción de presas de más de 185 metros de altura por las ventajas que permiten su construcción.

La presa Cethana –en Australia– alcanza 110 metros de altura, la más alta del Mundo desde 1971 hasta 1974.

Para su diseño se utilizaron fórmulas empíricas basadas en experiencia. El enrocamiento fue completamente construido antes de vaciar la losa, misma que fue compactada con rodillos vibratorios; se caracterizó por una instrumentación abundante y la atención de detalles bien definidos para juntas de compresión y tensión.

La presa Alto Anchicaya, en Colombia, con una altura de 140 m, fue la presa más alta del Mundo desde 1974 hasta 1980, construida como un gran logro de la ingeniería mexicana. Presentó grandes innovaciones; el uso de losa construida con 4 cimbras deslizantes simultáneamente. Así, fue la primera presa en construir la losa en dos etapas, utilizando compactación en capas menores (60 cm) y un sólo sello de caucho central con el empleo de materiales plásticos para reparación de la junta perimetral reduciendo filtraciones con una eficiencia del 95%.

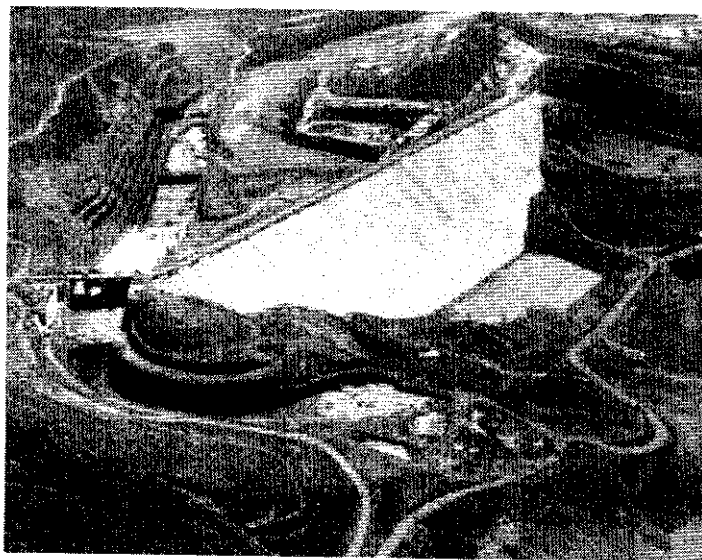


ALTO ANCHICAYA

Foz do Areia en Brasil, fue la presa que, históricamente, con sus 160 m de altura, se convirtió en la más alta del Mundo desde 1980 hasta 1993.

En su construcción se utilizó, por primera vez, el concepto de sección prioritaria con el fin de optimizar el desvío, proceso consistente en acelerar la construcción de presa para apoyar la ataguía.

Características importantes fueron su losa construida en dos etapas, la utilización optimizada de rampas dentro del enrocamiento, el contar con producciones superiores a 500.000 m³/mes durante dos años consecutivos y la utilización de varias defensas en la junta perimetral.

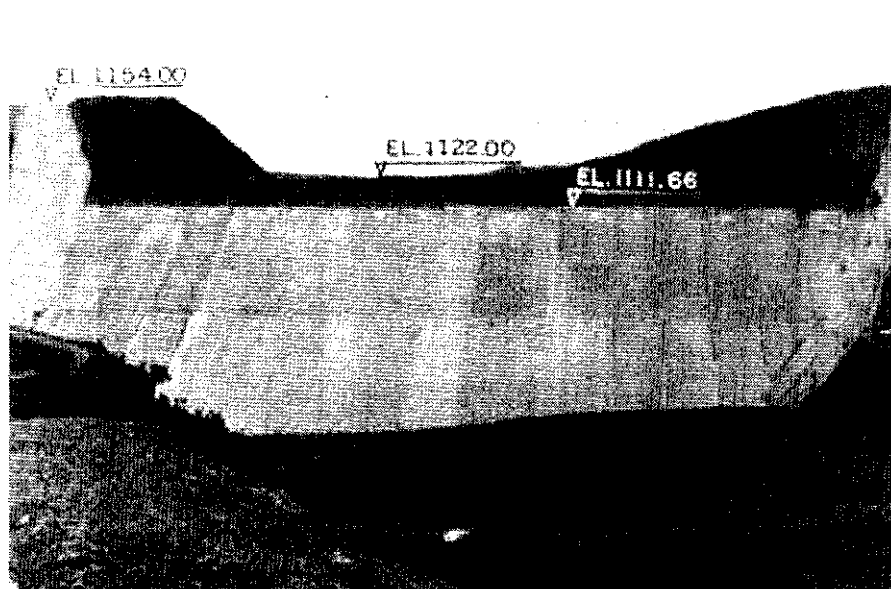


FOZ DO AREIA

La presa SALVAJINA en COLOMBIA, con sus 148 metros de altura es una de las más altas construida con gravas.



SALVAJINA



SALVAJINA

También muestra interesantes características como la construcción de losa en tres etapas y plinto diseñado con diferentes gradientes hidráulicos rocas fragmentadas y saprolitos o materiales meteorizados aguas arriba y aguas abajo.

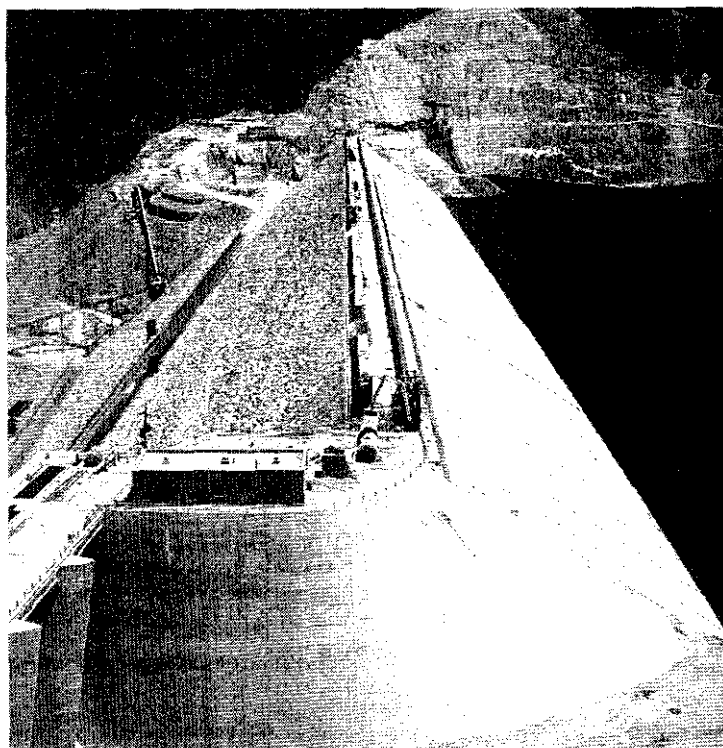
Aspectos importantes fueron el uso de materiales densos cuaternarios que se dejaron en los estribos, la observación de la diferencia de compresibilidad entre las gravas y el enrocado, así como la utilización de parapetos dobles para reducción de volumen de la presa.

La presa mexicana Aguamilpa es la más alta del mundo en operación, con sus 187 metros consolida los avances existentes y alienta el desarrollo de presas de grandes elevaciones.

Es la única presa de cara de concreto con extravasamiento que logró librar la problemática con el uso de la presa en construcción.

Son de destacar su losa construida en tres etapas, la utilización del concepto de sección prioritaria, el fusible para protección de la presa y ataguía, gravas aguas arriba y enrocamiento aguas abajo, la colocación de gravas con correas transportadoras y el enrocamiento con camiones y muro parapeto que se construyó en cajón.

Aguamilpa se ha constituido en un ejemplo de buen funcionamiento, a partir de ella se construyen nuevos proyectos en todo el mundo.



AGUAMILPA

En china se encuentra la presa más alta de Asia en operación, la TIAN SHEN QIAO con 178 metros de altura.

Comparte características con los demás proyectos como son losa construida en tres etapas, observándose cavidades entre las etapas de la losa.

Adicionalmente requirió una ingeniosa protección del enrocamiento contra flujos del río extravasando el mismo y destacó el hecho de que fué construida en varias etapas con producciones superiores a 1 millón de m³/mes, no vistos con anterioridad en este tipo de presas.

ITÁ en BRASIL, con 125 metros de altura, fué la primera en utilizar el bordillo extrudido.

El bordillo extrudido se usa en el cajón, elemento constructivo enteramente ciencia. Antes se compactaba el talud aguas arriba con rodillos vibratorios cuidando no vibrar la parte baja para no perder la compactación; el bordillo elimina la transición aumentando la eficiencia enormemente.

En esta presa además se observó movimiento por filtraciones: si se satura el enrocamiento puede producir grietas en la losa, sin embargo, este tipo de presas presentan bajas filtraciones. El tratamiento con finos es efectivo.



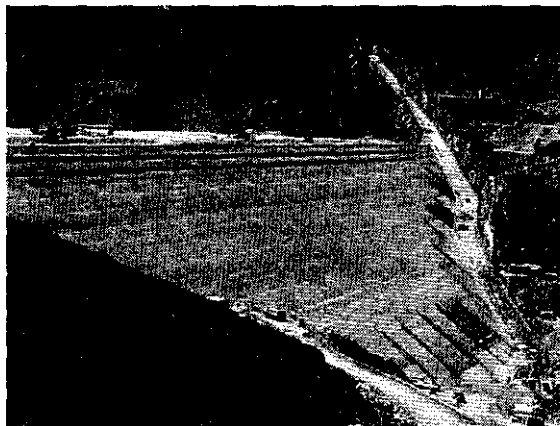
BORDILLO EXTRUDIDO

En BRASIL, la presa Itapebi, de 120 metros de altura, fue la primera presa en construir el enrocamiento y la losa simultáneamente. Se utilizó el método constructivo de bordillos y muros parapetos dobles prefabricados como el utilizado en la presa de Machadinho.

Destaca su talud de aguas arriba 1.25 H:1 V que permitió observar por primera vez rangos de este tipo.

Se observó como en Xingó e Itá, movimientos del enrocamiento con saturación por filtraciones. El tratamiento con finos resultó efectivo.

Antamina en Perú contará con 230 metros de altura. Presentará bordillos de 0,50m de altura y rampas amplias para camiones de 240 toneladas de capacidad. Su uso es para retención de deslaves de una mina de cobre.



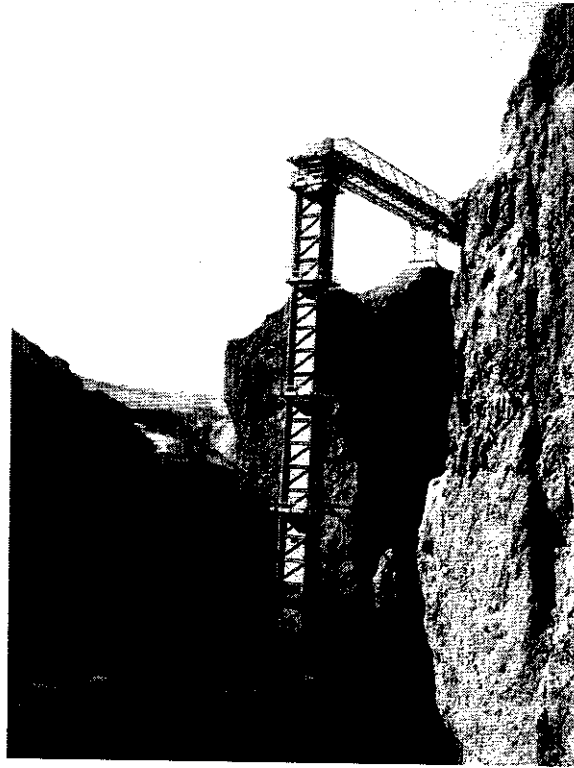
ANTAMINA

La presa más alta de África se encuentra en Lesotho, la Mohale de 145 metros de alto.

Para su construcción se utilizó el método constructivo de bordillos, losa construida en dos etapas, tratamiento de cavidades detrás del bordillo y muro parapeto alto.

Karahjukar, que contará con 196 metros, ubicada en Islandia, es la presa más alta de Europa en construcción.

Utiliza el método constructivo de bordillos y cuenta con estructura de gravedad en un cañón profundo con enrocamiento con cara de concreto. Es de destacar el procesamiento de basaltos jóvenes con el fin de colocarlos en el enrocamiento con bandas transportadoras.



ESTRUCTURA DE GRAVEDAD

Barra Grande, de 185 metros, en Brasil, presenta las siguientes características:

- Utilización del método constructivo de bordillos altos 0,50m
- Losa construida en dos etapas
- Se utilizó el criterio de sección prioritaria
- Optimizadas las distancias de transporte con estructuras subterráneas
- Producciones superiores a 1 millón de m³/mes
- Utilización de parapetos prefabricados dobles.

En la presa más alta en Brasil, Campos Novos de 202 metros, destacan:

- ◆ Utilización del método constructivo de bordillos altos 0,50 m;
- ◆ Losa construida en dos etapas;
- ◆ Utilización del criterio de sección prioritaria
- ◆ Optimización de las distancias de transporte con estructuras subterráneas
- ◆ Producciones superiores a 1,3 millón de m³/mes
- ◆ Utilización de parapetos prefabricados dobles.

En cuanto a las presas del tipo CCR, que han mostrado una gran evolución, como en las presas Caña Brava de 70 m y Lajeado de 38 m, se presentan:

- ◆ Utilización de capas compactadas de 30 cm con rodillo vibratorio
- ◆ Optimización de mezclas con adición de finos
- ◆ Utilización de CCR en estructuras masivas como vertedero y de toma
- ◆ Utilización de CCR enriquecido en la cara de aguas arriba
- ◆ Fabricación de juntas con tabiques revestidos de plástico
- ◆ Utilización de CCR en rampas (Lajeado)

EVOLUCIÓN DE PRESAS TIPO CCR,

En la Miel, Colombia, con sus 180 metros de alto se destacan:

- ◆ Utilización de equipos sofisticados con bandas transportadoras
- ◆ CCR colocado con torre pantográfica
- ◆ Juntas construidas con láminas vibratorias
- ◆ Utilización de CCR enriquecido
- ◆ Impermeabilización del talud de aguas arriba con membrana CARPI
- ◆ Utilización de monorriel para la colocación de la membrana CARPI
- ◆ Construcción de juntas con lámina vibratoria
- ◆ Incorporación del vertedero dentro de la misma presa.
- ◆ Distribución de CCR en diferentes zonas de la presa

En Ralco, Chile, de 150 metros, se observa algo novedoso:

- Utilización de correas transportadoras con ángulos de 45°
- Gran pendiente que requirió métodos de confinamiento en bandas transportadoras.

CONCLUSIÓN

El progreso en altura y en técnicas de diseño e innovaciones constructivas en estos dos tipos de presas exigen consideración en soluciones económicas para el beneficio de la sociedad.

*Las Presas
y el Hombre*

Impactos y beneficios ambientales

○

○

PRESAS Y MEDIO AMBIENTE

M. en C. Juan Rafael Elvira Quesada

Se presentan en términos generales una serie de lineamientos de lo que la SEMARNAT considera en el entorno de las presas y todo lo que conlleva al sector ambiental. Dentro de la política ambiental que ha sido desarrollada por el Presidente Fox durante este sexenio se integra como uno de los puntos de arranque la *integralidad*, que implica no el crecimiento de más secretarías, ni burocracia, ni más oficinas, si no entre muchas otras cosas el trabajo en comisiones intersecretariales. En junio de 2005 se instala una nueva comisión intersecretarial en México, en donde participan 6 Secretarías, cuya función será diseñar la política en materia de cambio climático para nuestro país, esto va fuerte ya que a partir de febrero realmente las políticas de nuestro país y en muchos de los países del mundo empiezan a cambiar, entonces la integralidad no es solamente crear nuevas oficinas, de hecho en SEMARNAT se ha reducido el 20% de toda la planta productiva del recurso humano que se tiene y el 80% del personal que queda tendrá que ser más integral y trabajar en el segundo renglón que es el de *transversalidad*, uno de los puntos que ha venido presentando la SEMARNAT como plataforma de acción, así, una presa, aunque sea para aprovechamiento hidroeléctrico, no solamente tiene que ver con el problema de la obra civil, sino también con acciones sociales, situaciones económicas, financieras, de índole ambiental, etc.

Esto implica que cada vez más secretarías se unan a resolver un determinado problema bajo diferentes formas, y esta transversalidad implica que también que se tenga una armonización no solamente interna como gobierno, sino también dentro del contexto internacional en la política entre varios países.

El tercer elemento es la *gestión ambiental eficiente*. Actualmente la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Nacional Forestal están trabajando la gestión por cuencas, con la participación de los gobiernos estatales y municipales, ya que una cuenca puede abarcar varios municipios e inclusive más de un estado.

México es uno de los 10 países que tienen mayor biodiversidad; mayor flora y fauna en todo el planeta. Si México pierde esto, estará perdiendo el planeta el 5º país en biodiversidad de todo el mundo. Esto implica por ejemplo, que 20, 30 ó 50 hectáreas de la selva de Chiapas pueda tener mayor biodiversidad que todos los bosques de Canadá, lo que es uno de los grandes pilares de nuestro país que se tiene que entender. Es necesario comprender por que significa tanto y por eso también las manifestaciones de impacto ambiental tienen que ser llevadas a tal rango para no perder lo que tenemos que finalmente es una herencia biológica que pertenece a todos los mexicanos.

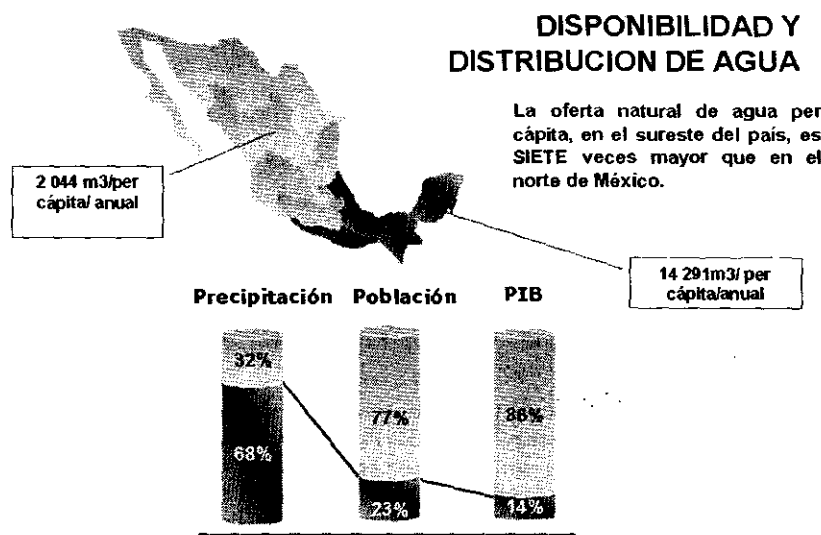
En días recientes, se dio la noticia en México de que por fin la vainilla tiene una denominación de origen como la tiene el tequila. El tequila es una de las plantas agavaceas que más ha sido saqueada de nuestro país como parte de la biodiversidad, porque todos los demás países quieren producir tequila, ya que representa un éxito económico. La vainilla es una vaina pequeña, una orquídea mexicana originada en Papantla, Veracruz y es un producto que se consume en todo el mundo ampliamente, la denominación de origen permite que ese beneficio sea únicamente a un polígono determinado del estado de Veracruz y de la ciudad de Puebla, por eso es tan importante tener la valoración de los recursos naturales, hay que destacar que el cuidar los recursos naturales no solamente debe estar dirigido a la población, sino también a los gobiernos municipales, estatales y federal. En ocasiones el gobierno es quien más daño puede

hacer al medio ambiente con diversas obras diversas, por lo que nosotros como gobierno debemos ser los primeros en poner la muestra de hacer las cosas adecuadamente.

El quinto concepto es el *combate a la impunidad*, en el que se ha ido trabajando fuertemente, pero también como Secretaría queremos apostar a la autorregulación de todos nosotros

Finalmente el último concepto es la *participación social y rendición de cuentas*, actualmente se tiene una ley de transparencia y cualquier documento que no sea confidencial para la empresa puede ser conocido para cualquier habitante de este país, lo que implica que oficios, memorandos, nómina etc. debe estar a disposición de cada uno de los mexicanos.

A partir de esta política ambiental se describen algunos aspectos del sector agua:



Esta irregular distribución lleva a la necesidad de diseñar presas y algunas otras obras de infraestructura. Es importante dar a conocer a la población los beneficios de estas obras, como las hidroeléctricas que representan una fuente de energía eléctrica limpia renovable, nos ayudan para suministrar el agua potable, regular el curso de ríos y arroyos, evitar la sobre explotación de mantos acuíferos, acumulan agua durante la estación de lluvias y se van liberando para cuando hay escasez y mejoran la calidad de agua y posibilitan nuestras bases. También ayudan a controlar avenidas e inundaciones y permiten regar una gran cantidad de tierras, en este sentido, México ocupa el 6° lugar del mundo en infraestructura hidroagrícola, nos vamos ubicando cada vez con presas en espacios de mayor capacidad y de mayor eficiencia, también vemos por el otro lado lo que puede causar el mal manejo de las presas; como la salinización de tierras y aguas, si no sabe regular los flujos podemos transformar las tierras cultivables en pantanos, pueden ser fuentes importantes de efecto invernadero de carbono y metano, pueden dejar sumergidas ciudades, y afectar paisajes. También pueden provocar la biodiversidad en procesos ecológicos

en todo tipo de ecosistema, no solamente en el sureste se fragmenta la conectividad de los ecosistemas fluviales y se puede modificar la calidad del agua

Para los efectos de tipo social y económico de las presas, debe considerarse que esta infraestructura este destinada a diferentes usos, para satisfacer una serie de elementos de necesidades domésticas en un país conformado por mas de 100 millones de habitantes del país, en mas de 196 mil localidades, con una explotación de mas de 5.5 millones de hectáreas correspondientes a un 28% de la superficie agrícola del país. Un dato interesante es que el 16% de los alimentos que se consumen en todo el mundo son productos de aguas que vienen de presas, el 20% de electricidad que se genera en todo el mundo es producto de las plantas hidroeléctricas. En cuanto a las industrias, comercios y servicios, éstos se tienden a concentrar en zonas urbanas, normalmente son los únicos usuarios de cualquier tipo de usuario de agua que devuelve todo el caudal de agua para ser reutilizado.

Las tendencias que se perciben dentro de la Secretaria de Medio Ambiente es que cada vez es mas frecuente que los presidentes municipales y los gobiernos de los estados en sus obras asociadas con el gobierno federal vayan hacia la captación de agua de lluvia para ser aplicadas en actividades agrícolas, pero también las agua domésticas, normalmente el Secretario de Medio Ambiente esta visitando los estados y está aplicando la nueva modalidad con los gobernantes, con quienes firma un convenio sobre medio ambiente, donde se da dinero para bosques, dinero para agua y dinero para infraestructura y el gobierno del estado deberá apoyar con su contraparte y el gobierno del estado busca la participación de los municipios, Estos convenios están integrando programas anuales desde los \$200 a los \$600 millones de pesos en cada una de las entidades y ahí es muy importante que el gobierno federal pida a los gobernadores que no dejen afuera las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como tampoco los rellenos sanitarios que son parte fundamental del saneamiento del medio ambiente.

El gobierno federal ha desarrollado un servicio ambiental, en el cual aquella comunidad que tiene un bosque y lo conserva y produce agua se le paga una cantidad, aquel bosque que produce aire también se le paga una cantidad, incluso el año pasado por la protección de biodiversidad se les paga a los ejidatarios, a los comuneros por la protección, también por el concepto de paisaje, si no ha sido alterado reciben una remuneración, y esto ha creado uno de los cimientos para que ejidatarios comuneros productores forestales, puedan ingresar como decía al esquema de protocolo de Kioto.

En segundo renglón donde vemos tendencias y alternativas es la recarga de acuíferos, aspecto que cada vez se ve mas necesario para devolver el agua limpia, no químicamente limpia, pero si biológicamente para recargar los acuíferos, finalmente el mecanismo del tratamiento de agua es un mecanismo que venimos trabajando con la Comisión Nacional del Agua, con la finalidad de conocer el tratamiento del agua y para hacer transacciones no de tipo comercial y si de tipo legal para hacer mas claro el valor del agua para todos.

Se tienen alrededor de 4,000 presas en México, de acuerdo a las clasificaciones 667 son grandes presas. La capacidad total de almacenamiento es de más de 150 km³ de agua.

El comportamiento del 2004 fue para presas de riego del 9% arriba del normal histórico, para agua potable del 13 % superior y para hidroeléctricas 3% abajo, es decir en términos generales fue bueno.

El año pasado la precipitación en lo general para nuestro país fue muy alta queremos pensar positivamente, puede ser un factor del cambio climático a mayor temperatura el ciclo del agua es

mucho mas intenso, mucho mas rápido y aquí las presas vuelven a tomar un papel fundamental para regular y evitar las inundaciones.

Para concluir mencionamos nuevamente la *transversabilidad*: para la Secretaría de Energía las presas son una fuente de energía renovable, para Comisión Federal de Electricidad es un complemento a la generación del sistema eléctrico nacional, para SEMARNAT es energía limpia que evidentemente interesa mucho, para la CNA es seguridad del suministro de agua, para SAGARPA es riego de tierras, para la Secretaría de Economía es aseguramiento de insumos de agua y energía y con esto tienen elementos para promover competitividad en economía, y finalmente para la Secretaría de Salud es tener la dotación de agua potable que garantice la salud. Como se puede ver para cada una de las secretarías es diferente el concepto, es diferente la valorización que se tiene de las presas, que en términos generales consideramos son un elemento muy importante en la vida de los mexicanos.

El instrumento que el gobierno ideó hace algunos años, llamado Manifestación de Impacto Ambiental, que es el permiso que la SEMARNAT da a cualquier obra e infraestructura para asegurar que los daños que se hagan sean recuperados, es un instrumento que muchos países vienen a México para ver como opera, para copiarlo y llevarlo a su aplicación en sus países.

México tiene que cambiar la visión sobre el medio ambiente, muchos fuimos testigos en los años ochentas de la existencia de la Comisión Nacional de Desmontes, y que el gobierno daba dinero para desmontar los cerros, las selvas y los bosques, era el concepto del desarrollo, era el concepto de agricultura, era el concepto del cambio, era el concepto de avance y ahora que estamos viendo realmente lo grave que está viviendo el planeta en este sentido, estamos cambiando el sistema y estamos ahora metiendo servicios ambientales, es el momento de frenar estas tendencias y empezar con la recuperación.

Las generaciones nuevas tiene una conciencia mucho mas amplia de cómo deben portarse con el medio ambiente, y nosotros creemos que tenemos la posibilidad precisamente de integrarnos a esta nueva tendencia para tener un México mejor.

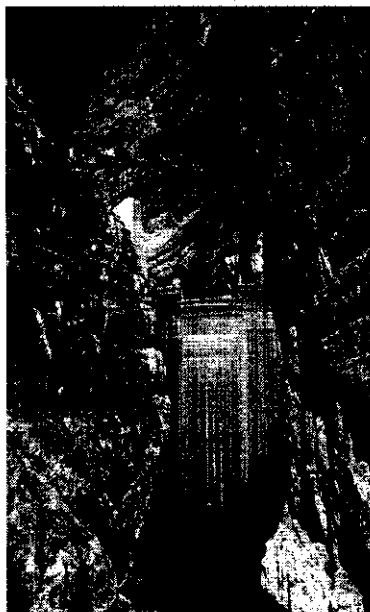
SOCIEDAD Y AMBIENTE EN EL DESARROLLO HIDROELÉCTRICO

Por un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos

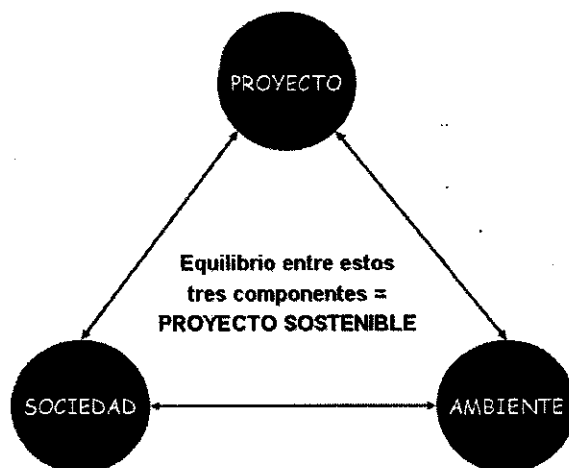
M. en C. A. Francisco J. Hernández Álvarez

DESARROLLO SUSTENTABLE

México, como muchos otros países del mundo, ha firmado diferentes convenios internacionales que lo comprometen a impulsar el desarrollo de su economía en forma sustentable. Con la sustentabilidad se pretende un desarrollo económico que permita satisfacer las necesidades de la población actual, pero asegurándose que permanecen las condiciones sociales y ambientales para que las generaciones futuras puedan seguir aprovechando los recursos naturales para satisfacer sus propias necesidades



En el contexto de la Comisión Federal de Electricidad esto se puede plantear que en los futuros proyectos debemos hacer hincapié en alcanzar un equilibrio entre el desarrollo de nuestros proyectos y el entorno social y ambiental en el que se construirá, asegurando con ello la permanencia de las condiciones adecuadas para el funcionamiento de los ecosistemas y para mejorar la calidad de vida de la población.



De acuerdo con lo que plantea diferentes economistas ambientales, para considerar como sustentable proyecto de desarrollo se debe asegurar con su implementación que el capital neto, considerando el valor de los recursos naturales y sociales después de la ejecución del proyecto no debe disminuir. Sin embargo, para considerarlo como un proyecto realmente atractivo se debe considerar que cada una de las partes del capital se incremente con la ejecución del proyecto. En otras palabras, lo deseable es que con el desarrollo de cualquier obra se generen mejores condiciones ambientales y sociales.

EN UN CONTEXTO TEÓRICO

ANTES DEL PROYECTO

$$\text{Capital Total1} = \text{Capital Financiero1} + \text{Capital Social1} + \text{Capital Natural1}$$

CON EL PROYECTO

$$\text{Capital Total2} = \text{Capital Financiero2} + \text{Capital Social2} + \text{Capital Natural2}$$

PROYECTO SOSTENIBLE ÓPTIMO

$$\text{Capital Financiero2} \geq \text{Capital Financiero1}$$

$$\text{Capital Social2} \geq \text{Capital Social1}$$

$$\text{Capital Natural2} \geq \text{Capital Natural1}$$

LA TOMA DE DECISIONES

Para alcanzar lo anterior, es necesario revisar al proceso de toma de decisiones con respecto a la ejecución de los proyectos. En la actualidad la decisión se sustenta fundamentalmente en un análisis técnico – económico del proyecto y las consideraciones socio-ambientales que se realizan son generales y proporcionan pocos elementos para sustentar cualquier decisión. Para alcanzar un proyecto sustentable, es necesario tomar la decisión con base en un análisis de costo – beneficio, en el cual se internalicen los costos y beneficios socio-ambientales del proyecto y se sumen a los costos de ejecución del proyecto, para determinar si el proyecto es viable.

ACTUALMENTE

- Sustentado principalmente en el análisis técnico – económico y consideraciones ambientales generales
 - Costo directo del proyecto vs ganancia del proyecto

PROYECTO SUSTENTABLE

- Análisis de costo beneficio
 - Internalización de costos y beneficios socio-ambientales + costos del proyecto

Sin embargo, para poder realizar el análisis de costo beneficio es necesario realizar desde las primeras etapas del proyecto evaluaciones ambientales a mayor profundidad que permitan establecer pronósticos cuantitativos que puedan ser usados para determinar la opción más conveniente para el desarrollo del proyecto.

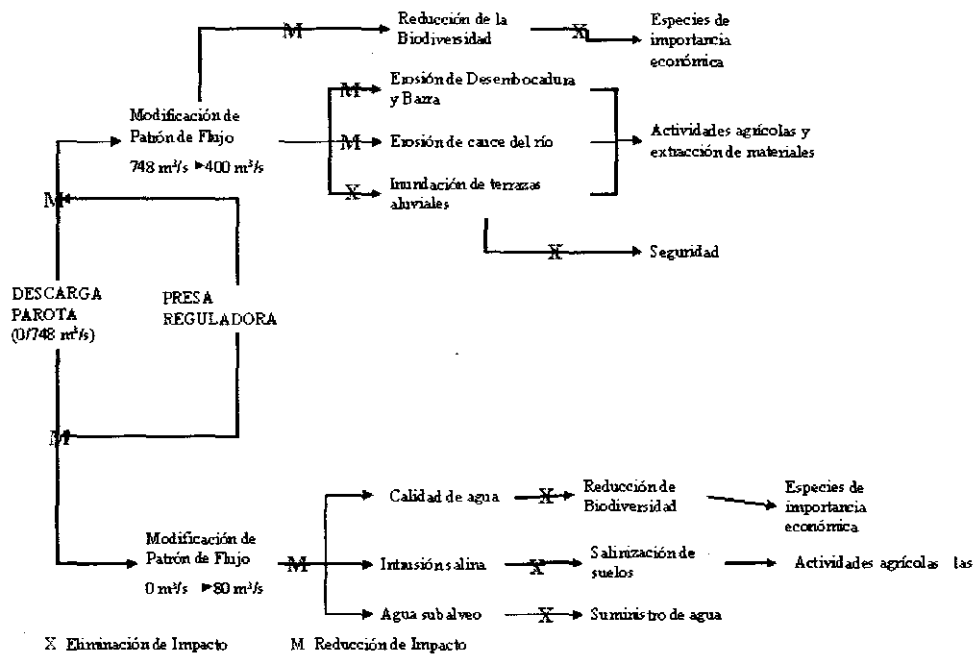
CON LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DETERMINAR EL VALOR O LOS COSTOS DE:

- Los recursos naturales y los servicios ambientales
- Las acciones requeridas para su conservación
- Las estrategias para aprovechar las nuevas condiciones

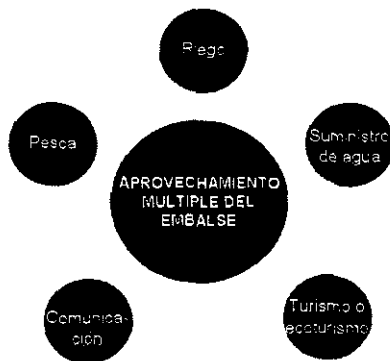
Por lo tanto, debemos incorporar las variables socio – ambientales en al análisis de alternativas si deseamos realmente acercarnos al desarrollo de proyectos sustentables. Entre otros aspectos es conveniente analizar cual sería la tecnología más adecuada, el sitio donde se desarrollaría, la capacidad de almacenamiento o altura de la corina, así como el procedimiento operativo.

Un ejemplo de la relevancia del análisis de alternativas en una etapa temprana, es la incorporación de una Presa de Cambio de Régimen al diseño del PH La Parota; el impacto aguas abajo de la cortina se identificó como de gran magnitud y afectando el sistema socioambiental en

todo el margen del río hasta la desembocadura. Aunque la presa elimina o minimiza casi todos los impactos, el hecho es que su construcción tiene un costo relevante, y este se debió haber analizado antes de decidir la ejecución del PH La Parota



Por otro lado, para alcanzar la sustentabilidad de nuestro proyectos, en el futuro deberemos asegurar el aprovechamiento múltiple de los embalses para que de esta forma se pueda maximizar el beneficio del proyecto



IMPACTOS AMBIENTALES NO MITIGABLES:

Otro elemento relevante al realizar la evaluación de costo-beneficio de una nueva presa es el costo que tendrán los programas de compensación que pueden ser elevados e implicar compromisos a largo plazo.

- Uso de terrenos forestales: Costos de compensación elevados
- Afectación de flora, fauna y ecosistemas: Programas de conservación a largo plazo
- Afectación de actividades productivas: Programas de restitución a largo plazo

Un ejemplo de proyectos que pueden aprovechar el Mecanismo de Desarrollo Limpio son las Minihidroeléctricas

- Aprovechamiento de cauces regulados con minihidroeléctricas:
- Se mantiene el área de afectación dentro del cauce natural
- Es factible el diseño de estructuras que permitan el libre paso de fauna acuática
- Se tiene la generación "asegurada" por el embalse ya existente

Estas centrales podrían significar un ahorro sustantivo de emisiones de CO₂

AHORROS DE EMISIÓN DE CO₂

Emisiones promedio CO₂ por Gwh en plantas utilizando:

Combustóleo = 823.74 t

Gas natural = 607.76 t

Generación = 1238 Gwh/año

Ahorro de CO₂ comparado con plantas utilizando

Combustóleo = 1019790.12 t/año

Gas natural = 752406.88 t/año

Cabe indicar que las grandes hidroeléctricas también permiten ahorrar emisiones de CO₂, pero debido a la magnitud de las mismas, los impactos que pueden tener, no las hacen aceptables para el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

AHORROS DE EMISIÓN DE CO₂ EN GRANDES HIDROELÉCTRICAS

Emisiones promedio CO₂ por Gwh en plantas utilizando:

Combustóleo = 823.74 t

Gas natural = 607.76 t

PH LA PAROTA	PH EL CAJÓN
Generación = 1,332 Gwh/año	Generación = 1318 Gwh/año
Ahorro de CO2 comparado con plantas utilizando	
Combustóleo = 1,097,221.68 t/año	Combustóleo = 1,085,689.32
Gas natural = 809,536.32 t/año	Gas natural = 801,027.68

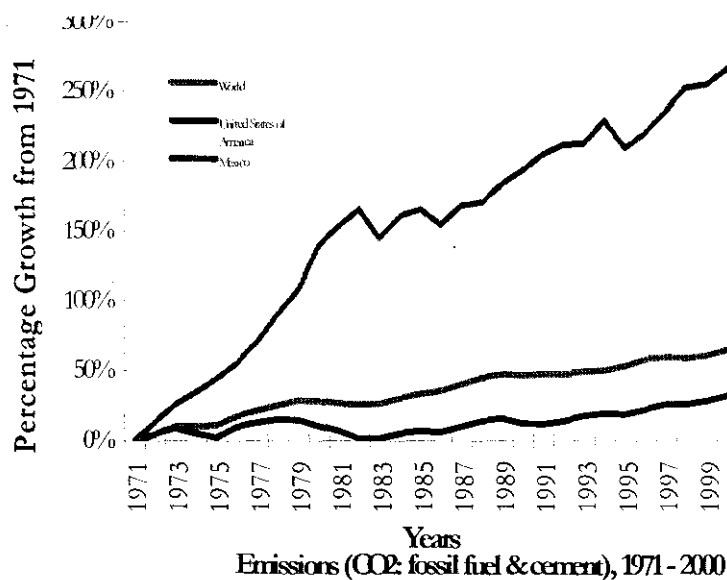
El reto para la construcción de los futuros proyectos hidroeléctricos consiste en desarrollarlos asegurando la permanencia de los recursos naturales y los servicios ambientales que ofrecen, con el consenso social y aprovechando al máximo la potencialidad del nuevo embalse. Debemos construir los proyectos que nos ofrezcan los mayores beneficios y los menores costos, tanto internos como externos.

PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Ing. Gabriel Quadri de la Torre

Vamos simplemente a ofrecer un contexto breve sobre México en relación con las emisiones de gases efecto invernadero totales en el mundo y los generados en nuestro país.

Vale la pena decir antes que nada, que México es un jugador especial en el mundo en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, ocupa tal vez el lugar número 12 ó 13 aportando, probablemente entre el dos y tres por ciento del total de las emisiones en el planeta. Las emisiones en nuestro país crecen de manera acelerada, de manera más rápida que en la mayor parte de los países.



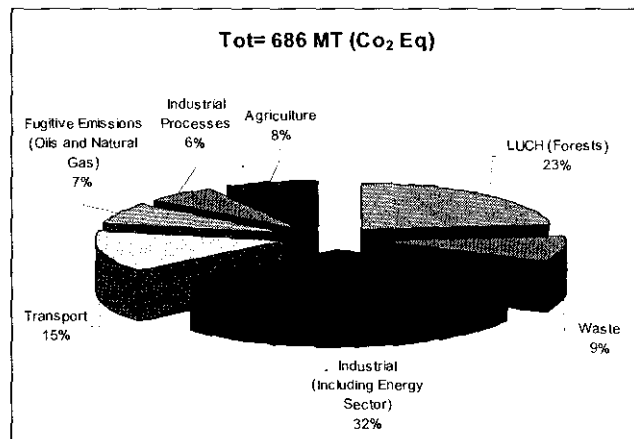
Se puede ver en esta gráfica, la tasa de crecimiento y las emisiones de nuestro país comparadas con la tasa de crecimiento y las emisiones de los Estados Unidos de América y del mundo en general. México emite algo así como 105 millones de toneladas de carbono, no de bióxido de carbono, al año. Esto nos hace un actor importante en el mundo en este escenario. Hay que decir que hasta ahora el protocolo de Kyoto no le impone obligaciones de reducción de emisiones a países como México, en vías de desarrollo, sólo les impone a países desarrollados.

En la actualidad existen esfuerzos globales de los países desarrollados por reducir emisiones y México en algún momento, tendrá también que asumir el compromiso para reducir sus

emisiones de los gases que tienen efecto invernadero. Es probable que a partir del 2012 México deba emprender iniciativas que por el momento no tiene, entonces los que las tienen son los países ricos.

Recordemos que el protocolo de Kyoto entró en vigor en febrero de 2005, una vez que lo firmó y lo registro Rusia, y esto implica que los países europeos tengan topes que cada gobierno de cada país imponga; un tope de emisiones a cada una de las empresas más significativas en materia de emisión, este tope deben de cumplirlo y si no lo pueden cumplir deben comprar los llamados "bonos de carbono" que resultan de proyectos de litigación o de reducción en otros países, o bien comprarle "bonos de carbono", que tienen otro nombre técnico, a empresas de países europeos también con complicaciones de reducción, pero que han podido ir más allá de los topes que les han establecido sus gobiernos. Lo anterior representa que se forme un mercado para la emisión de certificados o bonos verdes que permiten compensar las emisiones de bióxido de carbono que emiten los países desarrollados, actualmente ya está funcionando en la unión europea, por ello también han surgido algunas empresas intermediarias, (brokers) especializadas en el financiamiento de proyectos o procesos que permitan la reducción de emisiones de gases efecto invernadero y la consecuente posibilidad de emisión de certificados o bonos verdes, este mercado esto empieza a funcionar relativamente bien.

En México, las emisiones se distribuyen en diferentes actividades o sectores, recordemos que son 105 millones de toneladas anuales de carbono, estos son cerca de 400 millones toneladas anuales de bióxido de carbono, que no es lo mismo.



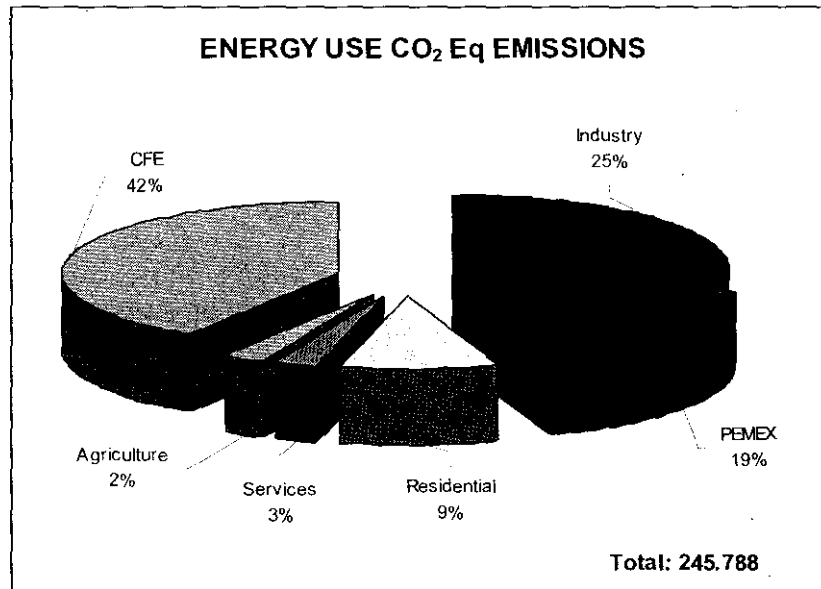
Hay que tener cuidado cuando hablamos de carbono y de bióxido de carbono, estas 686 millones de toneladas equivalentes a CO₂ incluyen las emisiones de cambio de uso de suelo y la quema de bosques; solamente por el de consumo de energía se generan 400 millones de toneladas en el sector industrial, incluyendo el sector energético. La CFE contribuye con la tercera parte de las emisiones, complementándose con las emisiones de los rellenos sanitarios que generan metano. El metano es un gas muy potente que genera efecto invernadero.

La deforestación y quema de bosques es desgraciadamente una práctica muy extendida en nuestro país por el tradicional sistema de producción agrícola basado en la roza, tumba y quema;

causa fundamental de la degradación de nuestros recursos, adicionalmente, existen procesos industriales en nuestro país que contribuyen a la emisión de gases de invernadero, por ejemplo, la descarbonatación de carbonato de calcio en la producción de cemento que produce bióxido de carbonato.

La industria petrolera, PEMEX, tiene importantísimas emisiones fugitivas de metano, el metano es un gas muy importante en este escenario y el transporte básicamente en vehículos automotores a partir de motores de combustible. Respecto a los gases de efecto invernadero, existen varios tipos que posteriormente serán referidos, sin embargo cabe señalar ahora hay varios gases en efecto invernadero, ya los vamos a ver más adelante, y su potencial relativo de efecto invernadero el 74% es bióxido de carbono y el 23% es de metano, el resto es óxido metálico y hay otros gases un tanto en su participación

Respecto al consumo de combustible y el uso de energía en México: el inventario de emisiones nos muestra un 25 % de participación en la industria manufacturera y el 19% de PEMEX, y como se representa en la gráfica, el 42 % es el sistema de generación de energía eléctrica por CFE, que depende altamente del combustible fósiles.

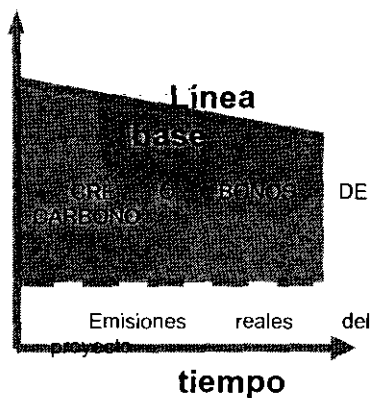


El siguiente cuadro nos permite ver que el potencial de efecto invernadero de diferentes gases invernadero, siendo la unidad de bióxido de carbono. Como pueden ver el metano tiene un potencial entre el 21 y 23 veces más efecto invernadero que el bióxido de carbono, por eso, visto en términos comerciales el metano vale más pensado como potencial en información de "bonos de carbono"

Gas	1996 IPCC	2001 IPCC
	GWP _a	GWP _b
Carbon Dioxide	1	1
Methane	21	23
Nitrous Oxide	310	296
HFC-23	11,700	12,000
HFC-125	2,800	3,400
HFC-134a	1,300	1,300
HFC-143a	3,800	4,300
HFC-152a	140	120
HFC-227ea	2,900	3,500
HFC-236fa	6,300	9,400
Perfluoromethane (CF ₄)	6,500	5,700
Perfluoroethane (C ₂ F ₆)	9,200	11,900
Sulfur Hexafluoride (SF ₆)	23,900	22,200

Ahora esta gráfica tiene un valor interesante muy simple

LÍNEA BASE Y EMISIONES DE UN PROYECTO

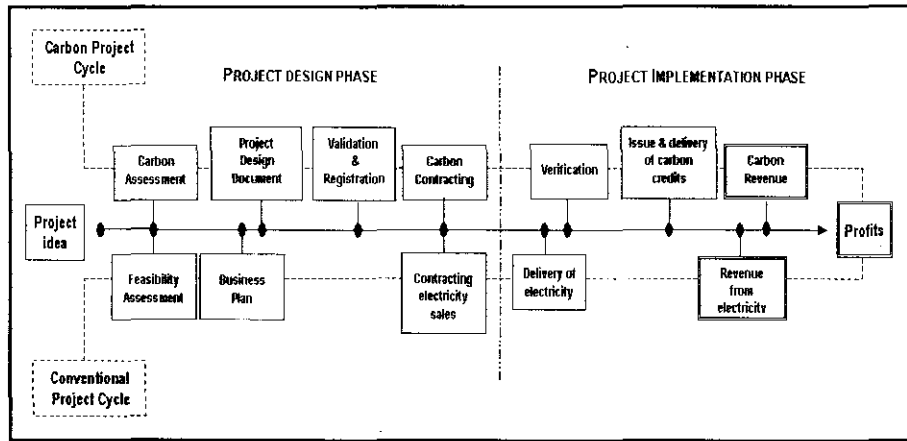


REDUCCIÓN DE EMISIONES EN UN PROYECTO MDL

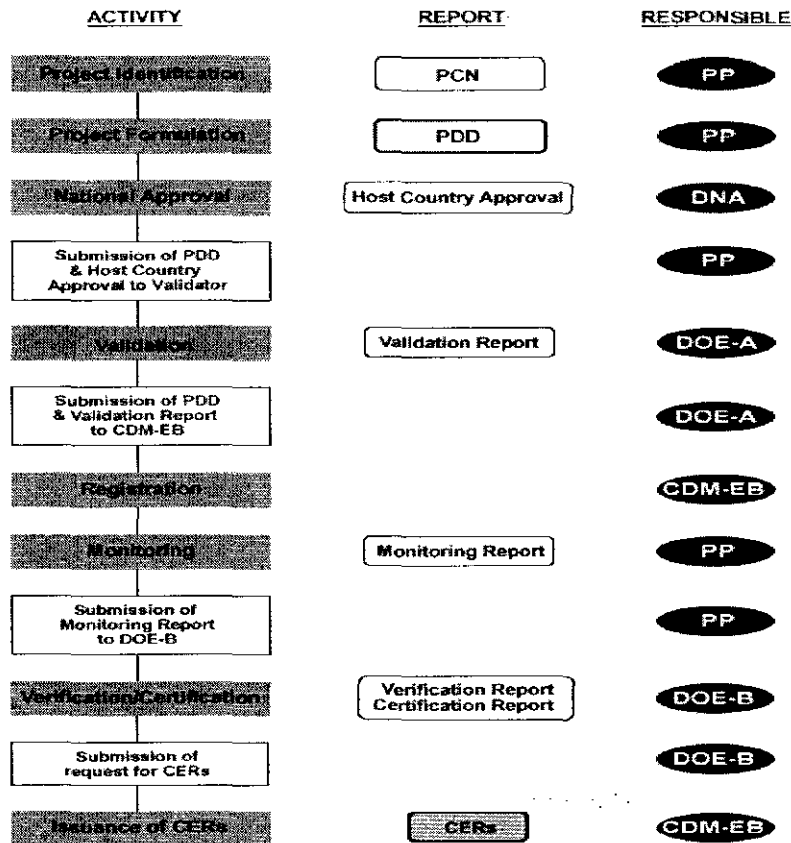
La manera de calcular esa línea base, esto es las emisiones que habría en el sector o en la actividad que corresponda en ausencia del proyecto, se calcula esta línea base después se calcula las emisiones con el proyecto y el área bajo la curva es el volumen de emisiones recibidas, que es el área debajo una recta que es el volumen total de "bonos de carbono" acreditables que pueden ser susceptibles de producirse.

El protocolo de Kyoto impone obligaciones y restricciones a los países ricos, pero contempla lo que se llaman mecanismos de flexibilidad, estos son mecanismos que hacen más barato o más eficientes alcanzar los objetivos de reducción de emisión. Recordemos o tengamos en cuenta que la mosca es un sistema global y que es exactamente igual que en cualquier otro lado, exactamente igual por ello y considerando que puede ser más barato reducir emisiones en un país, que en otro, se ha contemplado estos mecanismos de flexibilidad que han permitido a los países y a las empresas de los países Desarrollados. Si para ellos es muy caro reducir una tonelada de carbono en su propio territorio o sus propias instalaciones hacerlo en otro territorio de otro país o bien comprar estos títulos o muy famosos “bonos de carbono”.

Entonces, uno de estos mecanismos de flexibilidad es de desarrollo limpio, y consiste en que es posible, para países desarrollados, y gobiernos, y empresas, y organismos multilaterales emprender proyectos o apoyar y financiar proyectos en países en vías de desarrollo, que reduzcan emisiones y las reducciones producidas pueden ser acreditadas a la cuenta de un país, de un gobierno, de una empresa en forma de “bonos de carbono” y de esta manera poder ayudar a cumplir con los compromisos correspondientes.



El diagrama ilustra como un proyecto de carbono se lleva a cabo en forma paralela y simultánea al desarrollo de un proyecto, los elementos de desarrollo normal de un proyecto, por ejemplo cualquier proyecto en términos de principio, hay que hacer una evaluación de factibilidad, hacer un plan de negocios, hacer unos contratos correspondientes, etc. Hacer las entregas, obtener los ingresos y de más, y hay que llevar de forma paralela el proyecto de carbono que implica hacer la evaluación de potencial de emisiones, hacer la documentación correspondientes, hacer las evaluaciones necesarias que vamos a ver más adelante, y registro la evaluación de carbono a futuro puede ser dentro de transporte en el momento la verificación la generación de los bonos que ya comentamos. También esto se suma a los ingresos del proyecto eso quiere decir que los “bonos de carbono” puede ser un factor importante en estructuración financiera del proyecto y son otra fuente de ingreso adicional para los proyectos, en este caso eléctricos, no solamente van a producir kwatt hora también van a producir “bonos de carbono” y por lo tanto esto debe de entrar en la evaluación en los perfiles financieros y las corridas financieras



Aquí se ve un pequeño diagrama de lo complicado que es hacer proyectos de desarrollo limpio, ahí otros de transacción muy alta, se dice fácil se habla fácil de estos proyectos pero en realidad es muy complejo hay una gran carga burocrática de trámites, de gestiones y de estudios, en primer lugar hay que identificar el proyecto, esto implica hacer una pequeña nota general del potencial de reducciones, el responsable es el que se provoca, hay que formular el proyecto a través de un documento que formalmente se llama documento del diseño del proyecto o PDD que digamos el proyecto de cargo paralelo al proyecto de infraestructura que se trate, hay que hacer un proyecto de cargo después hay que solicitar la aprobación de nacional de seguridad nacional designada cada país tiene que registrar una autoridad designada para cada proyecto ante las México unidas y desde esta comunidad la que debe aprobar en el contexto nacional de estos proyectos. En el caso de México la autoridad designada es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de una Comisión Intersecretarial de proyectos y gastos, de función Ganadero y la SEMARNAT es la secretaria técnica responsable de esta concesión, una vez que se aprueba el país huésped aprueba el proyecto este proyecto se valida y

lo valida un tercero normalmente son solo estas instituciones que se dedican a la certificaciones como es el caso de Buró Veritas, CGGC, estas instituciones se dedica a certificar, a dar fe, es un Fedatario Internacionales. Éstos Fedatarios Internacionales son acreditados por Naciones Unidas y tiene por lo tanto la facultad de validar un proyecto, de estudiar un PDD, de estudiar el documento del diseño del proyecto y dar fe que es un proyecto viable que cumple con los requisitos de mecanismos de desarrollo limpio. Una vez que se valida y que se hace el documento de validación, una vez que se valida se hace un reporte de validación por esta entidad de este tercero y se somete a Naciones Unidas.

Este reporte de validación al consejo o al secretariado del propio mecanismo de desarrollo urbano, el secretariado entonces si todo a marchado bien lo registra es el momento más importante del proceso en el momento en que se registra una vez que se registra o se emprende el proyecto se lleva acabo en operación y se monitorea, se hace un reporte de monitoreo también como una tercería como una las intrusiones que acabo de comentar y después se somete este reporte de monitoreo. Otra vez a las Naciones Unidas, al secretariado de desarrollo limpio, se verifica que todo esto allá cumplido con las reglas, se certifica y se emiten finalmente CER ("bonos de carbono") Certificados de Reducción de emisiones. Vale la pena decir que "bonos de carbono" es un mote, un apodo para un conjunto más o menos amplio de titulo que tiene nombres especializados que amparan las acciones y emisiones. En el caso del mecanismo Desarrollo Limpio, el nombre formal es Certificado de Reducción de Emisiones.

Lo que pasa es de que ya popularmente se les conoce como "bonos de carbono", entonces que proyectos tienen el potencial o la capacidad de entrar a este procedimiento de mecanismo de desarrollo limpio por ejemplo: recuperar metano de rellenos sanitarios quemado y aprovechado para generar electricidad o bien para producir metano como carburante para vehículos automotores, hidroeléctricas pequeñas, hasta ahora en recuperación de metano de instalaciones ganaderas digamos recuperación de metano en minas de carbono, energía colica y plantas eólicas ondulares, metanol, energía producible renovable, metanol a partir de caña de azúcar, este proyecto en ingenios de confederación o manejo de bagazo o de manejo del cultivo de la caña para evitar el manejo de emisiones o generación de electricidad en la industria, por ejemplo: destrucción de carbono que es un proyecto sumamente rentable como ya lo comentamos proyecto de eficiencia energética, cambios de combustible, recuperación de metano, en este caso pudiera ser en PEMEX y proyectos de reforestación, aunque vale la pena decirles que los proyectos de reforestación son terriblemente difíciles de ser registrados por que implican una gran incertidumbre tanto técnica como ecológica como social y económica. Por eso no son proyectos muy socorridos, ahora vamos a platicar un poco sobre como se estructuraría una metodología para un proyecto de energía renovable, en este caso un proyecto hidroeléctrico, como hacer los cálculos para las estimaciones preliminares para poder proceder con un proyecto hidroeléctrico en que la ruta de un proyecto de carbono en primer lugar es muy importante decir que para que un proyecto pueda ser aceptado entre los elementos del mecanismo de desarrollo limpio debe cumplir con una condición que es bastante vaporosa a veces que es la condición de adicionalidad.

Esto es el proyecto no se hubiese llevado acabo si no existiese el mecanismo de desarrollo limpio que el proyecto es puramente adicional y que va más allá de lo que se denomina business in usual las practicas formales generales en un país en un sector determinado entonces es primero y es fundamental que exista información sobre las barreras que hay para desarrollar este tipo de proyectos como ya lo dije documentar muy bien que estas barreras pueden ser superadas gracias al propio mecanismo de desarrollo limpio, en segundo lugar hay que demostrar que este proyecto no es una practica normal generalizada en un país o en un sector. Por ejemplo grandes presas

hidroeléctricas en si mismas se justifican difícilmente pueden entrar en este esquema por que de todas maneras se harían y creo que esto es bastante lógico por que no nos estaríamos apartando de la ruta normal de emisiones de un país determinado, por otro lado, es muy importante o fundamental que el proyecto en cuestión desplace de electricidad que sería producida en plantas que por ejemplo que utilizan componentes fósiles y que producirían emisiones de gases, además es muy importante identificar las fronteras del proyecto por que por que esta muy claro detrás de la red las fronteras sectoriales las fronteras geográficas sistemas y demás que allá las características de la red de la red eléctrica en este caso y bueno que el proyecto se inserte en un sector donde no predominan fuentes de generación con emisiones cero como puede ser el caso de las hidroeléctricas, isotérmicas y núcleo eléctricas o eólicas, por ejemplo: brasil tiene un severo problema en este aspecto, la mayor parte de la electricidad generada en brasil proviene de fuentes hidroeléctricas entonces hacer un proyecto para el mecanismo de desarrollo limpio de desarrollo energético a si es muy difícil muy difícil, por que esta dominado por fuentes de emisiones cero y México es mucho más fácil más del 80% de la generación del país es a base de combustibles fósiles entonces aquí si se cumple. En Francia tampoco se podía por que la mayor parte es energía nuclear, en fin aunque Francia no entra en el mecanismo de desarrollo limpio.

Y por otro lado hay que asegurarse que la estructura de la red no va a cambiar durante la vida útil del proyecto ya que no este programado por el sector eléctrico de ese país para no introducir masivamente presas hidroeléctricas o Fuentes de generación eólica o de alguno otro tipo. También se consideran importaciones y exportaciones del sistema, hasta ahora solamente se han aceptado y se aceptan proyectos hidroelectricos pequeños, menores a 60 mega watts, que es muy importante tenerlo en consideración y bueno hay que asegurar que el proyecto no se llevaría acabo en el mecanismo de desarrollo limpio, ahora como se que calcula las reducciones de emisión creo que esto es bastante intuitivo pero vale la pena verlo de manera breve. Las emisiones reducidas que es ER es el periodo son iguales a la electricidad total generada en la red por un factor de emisión EF y es bastante fácil de entender este factor de emisión se construye a partir de dos componentes que se llama margen operativo o margen de corrupción que pueden ver en la expresión de esta lamina y es solamente una combinación lineal de los dos de las ZZ WW son básicamente las sumas dan exactamente 1.

$$EF_OM_y = TEM_y / TGEN_y = \left[\sum_i F_{i,y} * COEF_i \right] / \left[\sum_j GEN_{j,y} \right]$$

Es básicamente la suma ponderada de las emisiones de cada una de las fuentes de generación en el Sistema Eléctrico, pueden ver por ahí el TM son las emisiones totales en el sistema, TGN es la generación total en el sistema. Esta es igual a la sumatoria de los coeficientes de carbono de cada uno de los combustibles, F que están evidentemente relacionados con la generación de cada una de las plantas que en este caso las plantas cortas esto es cada combustible, tiene un factor de generación, un factor de carbono y ese combustible por su factor de carbono permite calcular las emisiones de una planta determinada dentro del sistema y la sumatoria de todas ellas, de esta forma nos da pues este factor de emisiones operativas. El factor de construcción que realmente no entiendo por que se le llama factor de construcción en ingles (build factor) trata de captar un poco las tendencias del sector eléctrico de cada país. digamos el anterior el factor anterior es una fotografía estática evidentemente de las emisiones este factor de construcción como yo diría de tendencias trata de captar hacia donde va el sistema eléctrico de ese país y calcula el factor de emisión de las ultimas 5 plantas o de las 5 plantas más recientes y más modernas construidas y

que entraron en operación ese país o en su caso del 20% más moderno o más reciente y es igual una sumatoria ponderada por factores de contenido de carbono de cada uno de los combustibles y la última expresión es simplemente tomar en cuenta factores de emisión de electricidad que se exporta que se importa y esto pues es bastante claro. Ahora la línea base es famosa de cómo se calcula, yo creo, que es bastante obvio se corre esa línea de puntos en esa gráfica precedente y simplemente es la electricidad generada en un periodo determinado por el factor de emisión compuesto como ya lo vimos por el margen operativo o factor operativo el factor de construcción para cada periodo "Y" de vida del proyecto, los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio pueden tener una vida útil de 10 años o 21 años, renovables cada 7 años, entonces escoger un periodo de vida de proyecto depende de muchas consideraciones pero bueno este sería el cálculo de la línea base que se hace esta función que no es sencillo pero es bastante clara y a partir de ahí con las emisiones reducidas se puede tener una estimación muy clara del impacto del proyecto sobre las emisiones totales generadas. Ahora el tema de la Adicionalidad, que yo les comentaba, es un tema fundamental que permite o no que los proyectos califiquen para el mecanismo del Desarrollo Limpio, en primer lugar tiene que haber algunas barreras que impidan que este tipo de proyectos sea una práctica generalizada en el país, las barreras pueden ser políticas, pueden ser legales, pueden ser técnicas, pueden ser financieras, de hecho un proyecto que no es rentable en ausencia de bonos de carbono casi automáticamente califica esto no quiere decir que solo califican proyectos no rentables pueden ser rentables lo que trataría de demostrarse bueno en México hay muchas barreras como: la inversión privada, como todos sabemos en el desarrollo de la electricidad si el mecanismo de desarrollo limpio ayuda a superar esas barreras queda resuelto el problema de la adicionalidad aunque el proyecto pueda ser rentable entonces hay que explicar muy bien como el mecanismo de desarrollo limpio puede superar esas barreras por otro lado analizar otras actividades si hay en el país otras actividades similares por que se llevaron a cabo como se llevaron a cabo y hacer un análisis comparativo técnico, legal, financiero, incluso político, tecnológico para demostrar esta adicionalidad, fugas son emisiones que ocurren en el desarrollo del proyecto esta es básicamente la conclusión del manejo del combustible por ejemplo el caso de las presas hidroeléctricas cuando se inunda son las que con alta densidad de vegetación se produce metano pues hay que asegurarse que las emisiones de metano producto de la descomposición anaeróbica de la vegetación no vayan a compensar de manera importante las reducciones obtenidas por la generación hidroeléctrica, y en fin ahora una vez que se ha hecho esto hay que desarrollar la metodología de monitoreo.

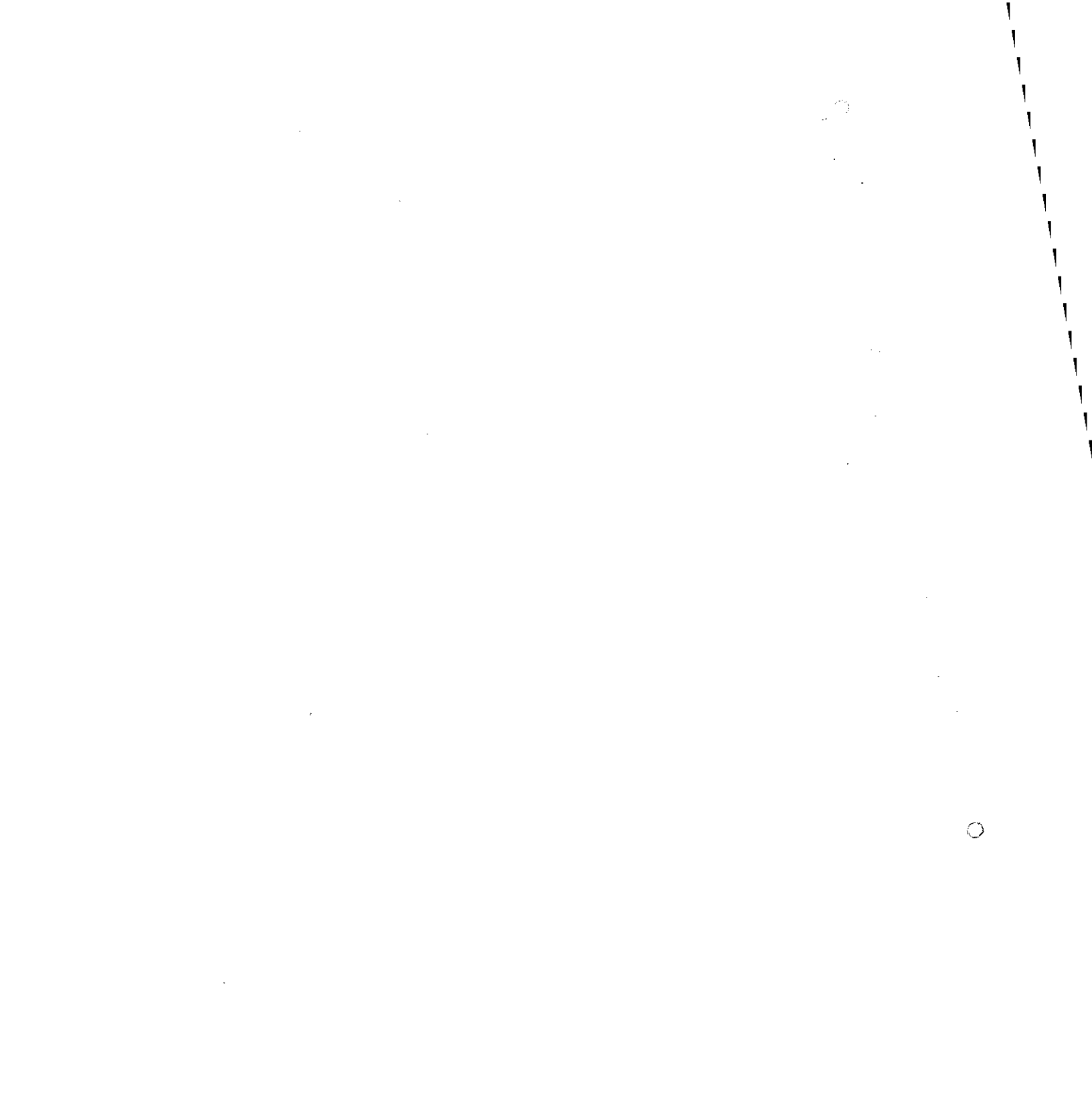
Hay que monitorear el proyecto como ya lo comentamos he parte del documento del proyecto incluye una metodología de monitoreo, monitoreo que hace esta tercera de la cual de la cual ya hablamos entonces cada año hay que monitorear el desempeño del proyecto en términos de electricidad que genero hay que determinar y recalcular el factor de emisión que genero de acuerdo a las nuevas plantas en la red o a la salida de alguna de ellas por parte de generación hay que actualizar estos de manera frecuente anual corregir los factores que resulten.

Considerar importaciones exportaciones también en la red y también confirmar verificar cada año que persisten las condiciones que hicieron al proyecto cumplir con los aspectos de adicionalidad. Ahora en México hay algunos obstáculos y limitaciones importantes para desarrollar estos proyectos además de toda la metodología y burocracia propia del sector como sabemos algo que se obstaculiza que se multiplica el proyecto NDL en sector energético generada en México es que no existe una línea base oficial de emisiones del sector eléctrico de nuestro país y esto hace que cada proyecto hace su propio cálculo y esto resulta un poco debatido un poco polémico sería muy útil que la CFE desarrollara la línea base de emisiones del sector eléctrico en México.

Hay también como sabemos restricciones constitucionales y legales del Art. 27 y 28 del sector público de energía eléctrica obstruye o limitan seriamente la inversión privada o la captación privada en el sector de la cual esta restringida las modalidades de con generación o autoabastecimiento independiente y esto digamos que es un barrera importante, también para el desarrollo, también los problemas contractuales. Si se logra finalmente llevar a cabo un proyecto hidráulico o eólico, eso es digamos los más asequibles, hay que entrar con CFE en todas las negociaciones de producción que son realmente difíciles complejas y generalmente favorables para el productor lo cual hace que los proyectos fracasen por ejecutar tiene que ver con los despachos y tienen que ver con todos esos cargos, de capacidad y de más incluso cuando se trata de cogeneración pues CFE compra a costo marginal de corto plazo la electricidad generada en estas plantas de cogeneración lo cual las hace poco viables financieramente. Ahora considerando todo esto en términos un poco perversos esto contribuye o puede contribuir asegurar la adicionalidad del proyecto entonces digamos que tiene dos facetas.

*Las Presas
y el Hombre*

Construcción de presas



LA CONSTRUCCIÓN DE HIDROELÉCTRICAS EN CONTRATOS MIXTOS DE OBRA PÚBLICA FINANCIADA PARA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Ing. Luis Horcasitas Manjarrez

En los últimos años, México ha intentado abastecer la creciente demanda de infraestructura con el fin de satisfacer las necesidades básicas de su población y garantizar el crecimiento de su planta industrial.

La calidad de vida, la generación de empleos y el desarrollo económico en general están íntimamente ligados a la calidad de la infraestructura energética con que cuenta un país, pues es un índice de la vitalidad de su economía y de su viabilidad como nación. Su ausencia, impone una carga inaceptable a la ciudadanía y es un gran obstáculo para su crecimiento y competitividad.

Los altos costos de los combustibles en los ciclos combinados con uso intensivo tienden a encarecer el costo de la energía, por esto, la inversión en infraestructura hidroeléctrica debe tener un alto rango entre las prioridades nacionales.

En el ámbito mundial conforme se han desarrollado nuevas tendencias para la optimización de los recursos y la competitividad de las empresas, la industria de la construcción se ha adaptado en forma dinámica al logro de los diversos requerimientos de infraestructura .

Sólo las empresas que se suman a este dinamismo mediante la incorporación de innovaciones en los procesos constructivos, gestión de proyectos, ingeniería, aseguramiento de calidad, etc. siguen adelante en un mercado que la globalización ha vuelto cada día más competido.

Hoy en día las principales empresas constructoras del mundo, trabajan bajo estrictos sistemas de aseguramiento de calidad certificados, práctica que se está volviendo un requerimiento de los clientes para garantizar que los procesos cumplan con sus normas y especificaciones, sustituyendo el esquema tradicional de verificación de la calidad.

A continuación se hace un breve repaso de los esquemas de contratación que se han utilizado para los proyectos hidroeléctricos en México por la Comisión Federal de Electricidad.

Al crearse esta dependencia en 1933 el esquema de contratación adoptado fue la Administración Directa.

Años después, en 1966 se inician los trabajos por contrato en el que cada dependencia actuaba en forma autónoma, celebrándose los primeros contratos para los Proyectos Hidroeléctricos de Tingambato y El Cóbano, así como el Proyecto Infiernillo, en el Estado de Michoacán.

A partir de 1970, se regresa nuevamente a los sistemas de ejecución de obras públicas por administración.

Posteriormente, a partir de 1977 se desarrollaron los sistemas de licitación de obras públicas presupuestales, realizándose diversos concursos para contratar por separado las obras de desvío, de contención, de excedencias, casa de máquinas y obras asociadas, así como la procuración e instalación de los equipos electromecánicos en otros paquetes. Esta segmentación se vio modificada con la construcción de la presa Aguamilpa en 1989, en la que se contrató mediante

licitación pública por separado, las obras civiles de la ingeniería, procura, montaje y puesta en marcha de los equipos electromecánicos

A partir de 1994, para mitigar el efecto de la falta de recursos presupuestales para el desarrollo de infraestructura pública y en particular en proyectos de energía se inician los esquemas de contratación con nuevos prototipos llamados proyectos financiados como la presa Huites. El 21 de diciembre de 1995, se modificaron las leyes de Presupuesto, Contabilidad y Gasto Público Federal y General de Deuda Pública, con el objeto de proveer un marco jurídico adecuado para las operaciones de financiamiento de proyectos de infraestructura que formen parte de programas prioritarios, en los que el pago de los mismos se liga directamente al flujo de recursos que la comercialización de los bienes y servicios de los propios proyectos generen.

Este tipo de proyectos tienen las siguientes características:

–Bajo este esquema, toda la deuda generada por la entidad pública para financiar el proyecto será considerada deuda pública.

–El servicio de la deuda se considerará preferente con respecto a nuevos financiamientos, para ser incluido en el presupuesto de egresos de los años posteriores, hasta la total terminación de los pagos relativos.

Para que un proyecto califique bajo este esquema debe de cumplir con los siguientes requerimientos:

–Ser un proyecto de infraestructura de largo plazo.

–Que el programa que contenga el proyecto en análisis se considere estratégico o prioritario de acuerdo a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley de Planeación.

–Estar relacionado con la adquisición de bienes y servicios.

–Que los flujos de recursos que el proyecto genere sea suficiente para cumplir con las obligaciones.

–Estar aprobado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Es bajo este esquema que La Comisión Federal de Electricidad el 3 de septiembre de 2002 convocó a la licitación pública Internacional del contrato mixto de obra pública financiada para la construcción de las obras civiles para una presa de enrocamiento con cara de concreto, obras electromecánicas y obras asociadas, procura, montaje, ingeniería, transporte, pruebas y puesta en servicio de dos unidades de 375 MW cada una del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, siendo éstas las de mayor capacidad unitaria instaladas en el país.

El 14 de marzo de 2003, CFE adjudicó a Constructora Internacional de Infraestructura, CHISA, el proyecto “El Cajón”, consorcio formado por: Ingenieros Civiles Asociados como líder del proyecto, PIADISA, La Peninsular Compañía Constructora y la firma rusa Energomachexport Power Machines, siendo la primera obra hidroeléctrica con un componente de más del 90 % a precio alzado contratada en la historia de México bajo la modalidad de Obra Pública Financiada pagadera en dólares americanos en dos eventos, el 60 % al cumplimiento de la puesta en marcha de la primera unidad lo que ocurrirá en el mes de febrero de 2007 y el 40% restante a la culminación del proyecto, el 30 de agosto del mismo año y regida durante su ejecución por hitos o eventos de cumplimiento obligatorio.

Gran parte de su importancia radica en la significativa aportación que dará al sector energético del país y en la estructura financiera que se ha integrado para su realización. Del resultado que se obtenga en este proyecto sin duda alguna se va a establecer un precedente para futuros proyectos en el país.

Las características principales del contrato y la gestión requerida se presentan a continuación.

El financiamiento total del proyecto es responsabilidad del contratista y no es causa para diferir los trabajos. En esta modalidad de contrato, las obras tienen el seguimiento del cliente y de las instituciones financieras, por lo cual la planeación integral, los procesos constructivos, así como la interfase con la ingeniería, procura, transporte, montaje, pruebas y puesta en marcha de los equipos electromecánicos, aunado al cumplimiento estricto de los eventos críticos y de las condiciones contractuales, es fundamental para mantener el flujo de efectivo requerido para la ejecución de las obras y así dar continuidad al programa previsto.

Con respecto a la ingeniería, el diseño de detalle lo realiza el Contratista y permite establecer un vínculo directo entre diseñador y constructor con el fin de optimizar la construibilidad del proyecto.

Se deben de iniciar los trabajos a los 30 días de firmado el contrato por lo que durante la planeación y construcción del proyecto, la estrategia para la selección y disponibilidad inmediata, operación y mantenimiento de la Maquinaria juega un papel trascendente para el éxito del proyecto, puesto que de la adecuada aplicación del equipo, depende la eficiencia de casi todos los procedimientos constructivos en cada frente de trabajo, requiriéndose de una gran cantidad, variedad y especialización de equipos.

Por nombrar algunos ejemplos, para las excavaciones subterráneas de los túneles de desvío y casa de máquinas, se utilizaron equipos especiales de barrenación (Jumbos Electrohidráulicos), cada uno con tres brazos de perforación capaces de barrenar hasta 60 metros lineales por hora, de tal forma que la excavación en tiempo récord de 9 meses de la casa de máquinas obedeció, en gran medida, a la eficiencia y operación adecuada del equipo de barrenación. Así mismo, para la aplicación del concreto lanzado reforzado con fibra metálica en condiciones de riesgo continuo en los túneles, se utilizaron equipos de alta producción operados a control remoto, obteniendo rendimientos promedio de 20 metros cúbicos por hora, superando a los equipos tradicionales en un 300%, salvaguardando siempre la integridad física del personal pues sólo se expone el brazo robotizado al frente de roca abierto.

En cuanto al requerimiento de mano de obra y dada la inactividad en el sector de las presas durante casi una década en México, así como al avance tecnológico de los equipos especializados para la construcción, se requirió de una capacitación intensa para disminuir los altos costos y los tiempos de la curva de aprendizaje.

Los procesos actuales bien desarrollados permiten que la tendencia sea disminuir la fuerza de trabajo, básicamente por el alto rendimiento del equipo de construcción. Si bien cada proyecto es diferente, se cita como referencia, que en lo que corresponde a empleos directos en Chicoasén se requirió la contratación de 19,000 personas, en Aguamilpa de 10,000 y ahora en El Cajón 5,000. Situación similar ocurre con los tiempos de construcción ya que para Chicoasén se requirieron 7 años, para Aguamilpa 5 y para el Cajón de contrato 4.5 con factibilidad de reducir este plazo.

La totalidad de los riesgos son a cargo del contratista a excepción de los geológicos e hidrológicos. El riesgo es la probabilidad de que algún evento adverso afecte las metas técnicas, de costos, de tiempo y la satisfacción del cliente, reflejada ésta en multas por incumplimiento.

Todos los proyectos poseen algún riesgo o no habría proyectos, el concepto de riesgo hace referencia a los efectos imprevistos y a las contingencias que ponen en peligro la consecución de los objetivos perseguidos, algunos de ellos podrán ser asegurables, por lo que se requiere de un análisis minucioso de los riesgos así como de su administración

Las multas por retrasos y/o incumplimiento de eventos críticos podrán ascender hasta un 12.25 % del importe total del contrato y adicionalmente en el caso de que los equipos de generación no obtengan la capacidad neta garantizada, el precio del contrato se adecuará en forma proporcional a la potencia real, en el entendido que este ajuste no se considera una pena convencional. De ahí la importancia del cumplimiento del programa general de obra, de la calidad de los trabajos y la eficiencia de los equipos, ya que de no cumplirse no se cobra a tiempo lo que ya de por sí implica una multa generada por los altos costos financieros acumulados sino que adicionalmente el cliente aplica una sanción.

Antes de la aceptación provisional se debe entregar una carta de crédito por el 5 % del importe del contrato como garantía de calidad y por una duración de dos años.

La planta hidroeléctrica es operada en promedio 5 meses por el contratista en forma comercial en el lapso comprendido entre la aceptación provisional y la culminación del proyecto, periodo en el que además, se tiene la obligación de capacitar al personal de operación del cliente.

Se requiere de un sistema de gestión integral basado en las normas ISO 9001 y para el medio ambiente ISO 14001, adicionalmente cumplir con los Principios de Ecuador y los lineamientos del Banco Mundial para proyectos hidroeléctricos a fin de satisfacer los requerimientos de las entidades financieras.

Así mismo, para los temas de la seguridad y la salud en el trabajo se requiere la implantación del Sistema de administración de seguridad y salud en el trabajo denominado SASST-01. Con respecto a la seguridad en esta obra, se ha logrado una disminución sustancial de las incapacidades y accidentes de trabajo fatales lo que ha permitido mantener índices de siniestralidad inferiores a los estándares internacionales de la industria de la construcción. Hemos aprendido, que un buen resultado se obtiene, vinculando las precauciones con el cuidado de la salud de los trabajadores y en respuesta se obtiene una sinergia mediante la cual los resultados se traducen en la permanencia del trabajador en su frente asignado.

La planeación, ejecución y mantenimiento de la infraestructura de apoyo para la fase de construcción que es fundamental para el desarrollo de los trabajos, es responsabilidad del contratista: vialidades, campamentos, telecomunicaciones, esquemas de comedores y transportes amén de la logística conexas que se implementa con el fin de optimizar tiempos y costos de todos los servicios necesarios para atender el alto número de trabajadores que se concentran en sitios remotos como es nuestro caso.

Los procesos del proyecto se han visto beneficiados por la incorporación de sistemas para la planeación, medición y control del Proyecto.

Se han implementado sistemas de telecomunicaciones de vanguardia que han merecido reconocimientos por su innovación. El enlace al exterior de la obra se logra mediante comunicación satelital telefónica, servicio de internet y telefonía celular.

Hoy en día la empresa constructora tiene que atender compromisos en forma interdisciplinaria, multilingüe y multinacional pues en un proyecto de esta magnitud se tiene la participación de ingenieros civiles, mecánicos, químicos, industriales, abogados, financieros, médicos, veterinarios, biólogos, y administrativos de diferentes especialidades, por citar sólo algunas de las profesiones.

La realización de estos grandes proyectos no son producto de una institución, una empresa o de un solo hombre, se hacen con la conjunción de las experiencias y voluntad compartidas de todos, que enriquecidas con el avance imparable de la ingeniería, innovación tecnológica, nuevos esquemas y procedimientos que hacen posible nuevos y más novedosos proyectos.

Debemos despolitizar la inversión en infraestructura, se requiere de mayores inversiones públicas y privadas para lograr la continuidad en la gestión, aprovechamiento, utilización y manejo adecuado del agua como las presas multipropósitos con aprovechamiento energético, lo que les da viabilidad económica logrando el desarrollo integral de las regiones.

El futuro del país está en nuestras manos, es por ello que todos debemos asumir con plena responsabilidad el enorme reto que significa construir esta gran nación, uniendo esfuerzos y capacidades profesionales para vencer juntos los desafíos que México enfrenta.

LOS INGENIEROS Y LAS PRESAS

Ing. Carlos Chavarri M.

Agradezco a los organizadores, y en particular al Ing. Benjamín Granados el haberme invitado a participar en este importante foro sobre las presas en el tema de construcción.

México es un país con gran tradición en la construcción de presas, así como la de sus ingenieros. Con los avances tecnológicos y equipos más modernos, ha sido posible construir más rápido, pero por más moderno que sea todo, no es posible hacerlo sin buenos recursos humanos y de ellos los ingenieros.

Cuando la comisión de irrigación construía las primeras presas, los superintendentes eran extranjeros, Mr. White y Mr. Torne; entonces un funcionario de la Comisión de Irrigación decide enviar a un grupo de jóvenes ingenieros y, así es como surgieron los nombres que nos dieran fama y cuyos nombres se encuentran inscritos en muchas presas de México. De esa generación podemos mencionar a Aurelio Benassini Vizcaino, Manuel Aldeco y Cejudo, Manuel Anaya y Sorribas, Alfredo Marrón V., Augusto de Yta, José Vicente Orozco, Oscar Vega Argüelles, Francisco Mendoza Von Borstel, etc., cuya preocupación fue también formar nuevos ingenieros preseros, como Francisco Noreña, Fernando Favela, Leandro Roviroza, José Hernández Terán, Jorge Cabezut, Rubén Urbina que a su vez formaron a Julio César Aceves, Eugenio Laris, Joel Rojas, Manuel Salvoch, Federico Schoeder, Benjamín Granados, Enrique Heredia, Federico Martínez y; la nueva generación, Humberto Marengo, Fidel Bañuelos y José Luis Grajeda; lo cual nos hace ver que necesitamos urgentemente formar nuevas generaciones para no perder esa tradición, y que en buena parte ello se debe el haber dejado de construir presas por 10 años.

Ahora que se construye el Cajón y Amata es la oportunidad de formarlos, ya que en caso contrario para la construcción de las próximas presas como la Yesca, la Parota, Copainala, Tenosique, etc. no tendremos ingenieros suficientes, por ello, programas como el que llevan a cabo la CFE y la fundación ICA con la Facultad de Ingeniería de la UNAM y otras Universidades de estancias profesionales, servicio social, tesis y visitas a dichos proyectos de los que soy participe, resultan de vital importancia, ya que de esa forma encontraremos los nuevos preseros, y para ello debemos tener mucha paciencia para entusiasmarlos, ya que 10 años fueron muchos años sin hacer presas y, eso nunca había pasado en la historia de este país.

Los desafíos que ahora se enfrentan son de otra índole, los de una nueva época, los de un país más desarrollado y más poblado, cada nueva obra afecta la infraestructura construida anteriormente y no hay ocasión en que no se tenga que desplazar población.

La construcción de presas, seguirá siendo solución para el mejor uso de nuestros recursos hidráulicos en la satisfacción de las necesidades de riego, abastecimiento de agua, control de avenidas y generación de energía eléctrica. La ingeniería mexicana ha sido y, es capaz, de realizar presas de grandes dimensiones. La construcción de estas obras se tendrá que abordar con una nueva óptica, al incorporarle a los temas técnicos los aspectos sociales y ambientales; solamente así se podrán seguir construyendo estas obras tan importantes para el país.

OBRAS HIDRÁULICAS CON ENERGÍA

Federico Schroeder C.

Las Obras Hidráulicas tienen por objeto, construir, instalar, ampliar, adecuar, remodelar, restaurar, etc. las estructuras que utilizan el agua para su funcionamiento. El crecimiento de la humanidad ha caminado paralelo al desarrollo de las Obras Hidráulicas. Los grandes cambios ocurridos al ritmo de los tiempos, están íntimamente ligados a las múltiples maneras en que el hombre ha logrado guardar el agua en las presas para aprovecharla y distribuirla.

Actualmente vivimos en un mundo globalizado, con avances tecnológicos impresionantes. Se produce más con menos uso de mano de obra y materias primas.

Para 2025 habrá 30 millones de nuevos mexicanos que demandarán alimentación, educación, vivienda, empleo y toda clase de bienes.

Se deben generar más de un millón de empleos cada año.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- La construcción de las obras hidráulicas del valle de México y Texcoco, diseñadas y construidas por el gran Nezahualcóyotl.
- En la época colonial se destaca el famoso Canal del Desagüe de la Ciudad de México, construido en 1607 por el Ingeniero Enrico Martínez, que incluye un túnel en la parte más baja de la ciudad, de 7350 varas, conocido como el túnel de Tequisquiác.
- A finales del siglo 19, se creó el gran Sistema Hidroeléctrico Necaxa en 1906, por el entonces presidente Porfirio Díaz, ejecutado fundamentalmente por empresas extranjeras, actualmente en uso.
- En el periodo del Gral. Plutarco Elías Calles, se crea la Comisión Nacional de Irrigación, que inicia las grandes Obras Hidráulicas de la época moderna, ejecutadas al principio por administración directa y posteriormente con empresas privadas a través de asignación directa de contratos de obra pública.
- A finales de los años 40 destaca por su participación en esta actividad de desarrollo, la Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- Posteriormente se inician por parte de la recién constituida Comisión Federal de Electricidad, los proyectos hidroeléctricos Valle de Bravo, Las Juntas, El Cóbano y Mazatepec-Apulco, en Puebla, en 1959.

DESARROLLO DE LA ENERGÍA

La gran revolución tecnológica del siglo XX se desarrolla gracias a los beneficios de la energía eléctrica. En México, como en otros países del mundo, tener acceso a esta forma de energía es

resultado de un enorme esfuerzo conjunto en el que han participado tanto dirigentes estatales, como destacados científicos, trabajadores y técnicos.

Tales de Mileto, sabio griego, muerto en el año de 546 a.C., descubrió que al frotar el ámbar --al que llamaban electrón--, atraía partículas de polvo y como estos imanes abundaban en la ciudad de Magnesia en Asia Menor, se les dio el nombre de magnetos.

Pero no fue sino hasta el año de 1600 cuando William Gilbert de Colchester, médico de la reina Isabel I de Inglaterra, publicó su libro De Magnete, en él que asegura que nuestro mundo es un gran imán. Esta teoría le otorgó la aprobación de Galileo y se le considera la primera obra escrita sobre electricidad.

Hace apenas un poco más de 200 años el hombre logró arrebatar a la naturaleza secretos que trocaron en ciencia fenómenos deificados, cambiando las costumbres de la vida en el planeta y desatando, en un suspiro de tiempo, avances en cadena que hoy asombran e impresionan, al vislumbrar alcances inimaginados.

Tiempos luminosos lo habían precedido con las antorchas de la época prehispánica, cuando Bernal Díaz del Castillo, escribe que... "al contemplar la gran Tenochtitlan en la noche, era tanta la iluminación, que en la ciudad parecía que era de día, más que de noche".

La tarea de electrificación del territorio mexicano, la absorbió la Mexican Light and Power Co. Que en 1902 inició sus labores al construir la planta de Necaxa. Años más tarde se hizo cargo de la demanda del D.F. y de los Estados de Puebla, Hidalgo, México y Michoacán.

En el año 1930, la capacidad instalada llegó a 510 mil kw. Dos grupos dominaban la industria eléctrica: La Cía. Mexicana de Luz y Fuerza Motriz cuyos principales ingresos provenían del consumo de las minas, los servicios municipales y los tranvías; y la American Foreign Power Co. Que iniciara sus actividades en 1928

La ineficiencia operativa de estas compañías, las altas tarifas y la escasez del fluido, originaron protesta de los consumidores. El gobierno mexicano intervino dictando medidas administrativas que obligaron a las empresas a mejorar el servicio y reducir las tarifas. Debido a todo ello, el presidente Abelardo L. Rodríguez envió al Congreso de la Unión, el 2 de diciembre de 1933, la iniciativa para crear la Comisión Federal de Electricidad; el 19 de enero de 1937; ya bajo el gobierno del General Lázaro Cárdenas, se promulgó la Ley que la instituyó.

Pero un acta no basta para consumarla, Como en la vida, las actas sólo anuncian la vida que comienza. Independizarse requiere voluntad fuerte, unidad resuelta, perseverancia y energía. El esfuerzo no basta. Se exige una hazaña.

La hazaña comenzó así: sus inicios fueron modestos, en una oficina alquilada y con poco personal. Sus primeras obras fueron las de Teloloapan, Guerrero; Pátzcuaro, Michoacán; Suchiate, Chiapas; Xia, Oaxaca; y Ures y Altar, en Sonora; Bartolinas, Granados, Zumpimito y Tacámbaro en Michoacán; Jumatán, en Nayarit; y muy especialmente el de Ixtapantongo, en el Estado de México.

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Una Central Hidroeléctrica es una Presa con Energía. Funciona gracias al poder entubado de la caída tempestuosa del agua, que mueve las turbinas y en los generadores, -cuyos ejes se encuentran unidos a los de las turbinas-, hay campos de metales imantados que, con el

movimiento, producen la energía eléctrica, que se convierte en chispa poderosa –como si fuera el fuego de un moderno Prometeo tecnificado– y se hace la luz.

Una Central Hidroeléctrica es ingenio y orgullo. Fuerza, turbina y generador. Es, sí, energía eléctrica, pero es además agua en reserva, riego, piscicultura, reforestación, fauna y flora, trabajo. Revivificación del entorno, centro de recreación, vida para la vida, servicio para la sociedad.

La faz de todo el territorio nacional está salpicada, hoy por hoy, por unas setenta y cinco hidroeléctricas con más de dos centenares de unidades capaces de producir cerca de doce mil millones de kiloWatts en un momento determinado.

El cuidado del medio ambiente es para la CFE una actividad prioritaria. Todo proyecto que se pretende realizar, implica un cuidadoso análisis de impacto ambiental, y durante la operación de las centrales y del sistema en general, se emplea un permanente monitoreo que muestra oportunamente cualquier alteración que pudiera producir.

En el caso de las plantas hidroeléctricas, dado su sistema operativo, ausente de energéticos de combustión, se puede hablar de energía limpia, sin gasto de recursos no renovables. No obstante, al construir una hidroeléctrica se ocupa un espacio donde posiblemente había pobladores, con toda su organización de costumbres y vivencias de cultivos, pequeñas industrias tal vez, construcciones de especial veneración, como iglesias y camposantos, que se ven alterados. Se afectan también los microclimas, pueden erosionarse laderas o montañas; hay cambios en los ritmos vitales de animales y plantas. Se trata de sacrificios a veces irremediables en los que se busca, a cambio, con el convencimiento de los pobladores, la mejora de sus viviendas, reacondicionar sus fuentes de trabajo, respetando sus tradiciones, creencias y modos de vida.

Ante el impacto económico, político y social que implican forzosamente estas obras de generación eléctrica, el compromiso categórico es que éstas resulten también un factor de progreso para las regiones donde se asientan.

Es por eso que se realizan acciones que restablezcan el hábitat y mejoren los niveles de bienestar de las poblaciones afectadas. Así, se agilizan los trámites para la adjudicación de los terrenos necesarios para las obras, los decretos expropiatorios y su ejecución y de manera prioritaria, se efectúan los trámites para las indemnizaciones correspondientes a los ejidos y ranchos, antes de que se inicien los trabajos de construcción de las obras. Cubriendo oportunamente los bienes afectados distintos a las tierras.

Detrás de la energía eléctrica está la energía primaria, la que impulsa los álabes de las turbinas y hace rotar a gran velocidad el alma de los generadores. Pero más atrás, está la más importante de las energías, la energía consciente, aplicada, de la persona humana. Un numeroso contingente de trabajadores, se aplica día con día a la noble tarea de electrificar a México, repartidos en todas las entidades federativas, en cada central, junto a cada máquina, vigilantes de cada subestación, de cada torre, de cada poste o transformador, de cada cable; en las excavaciones, los cimientos, las estructuras de las construcciones o bien en oficinas, en la no menos ardua tarea del pensamiento y la organización sobre escritorios y computadoras.

Una parte considerable de estos seres va incluso más allá; toma como misión de vida el cumplimiento de sus obligaciones en la producción de la energía eléctrica. Sabe que se trata de una tarea sustancial para el país; que su participación personal es una aportación verdadera, efectiva, constructiva. Hay quienes se entregan y disfrutan su labor cotidiana aún después de las horas de compromiso, en los momentos de la presión laboral y del dar adicional. El ingeniero

que toma como propio el desafío de mantener iluminados los aros del progreso, al hacer llegar la potencia de arranque despertadora de los dinamos de la industria; el empleado abstraído en la búsqueda de mayores índices de generación a costos más reducidos; el obrero de pupila centrada en el pendular de una aguja de controles precisos; aquél otro, guardián de la energía y presto a la emergencia. Porque esta actividad, en gran medida, es de especialistas, desde el más sencillo de los trabajadores, hasta el más adiestrado, sometidos todos a la experiencia de la teoría y de la práctica desde el momento en que se incorporan con vigor al Sistema Eléctrico Nacional. Se requiere de mucha energía para generar energía, porque la base de todo es la energía humana.

DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA HIDROELÉCTRICA

El 18 de marzo de 1938, con la expropiación petrolera, México se enfrentó a un bloqueo económico. Alemania, interesado por nuestro petróleo, concertó una operación de intercambio, gracias a la cual hubo recursos suficientes para adquirir los equipos hidráulicos y eléctricos requeridos en la realización del proyecto en Ixtapantongo, detenido por el inicio de la segunda guerra mundial y más tarde por falta de recursos financieros; finalmente fue puesto en operación en 1944 con una capacidad de 27,900 kilowatts.

Para 1960, las plantas hidroeléctricas alcanzaron una capacidad de 727,361 kiloWatts. La instalación de los turbogeneradores de la planta hidroeléctrica de El Infiernillo, marcó un récord mundial en los países occidentales al desarrollar la construcción de grandes presas y la instalación de grandes unidades generadoras, con el fin de aprovechar los recursos hidroeléctricos del país.

El 8 de mayo de 1974 fue la fecha señalada para cerrar las compuertas del túnel 2 de La Presa La Angostura iniciando el llenado del vaso más grande de México. A las 7 de la mañana nos dirigimos al sitio a saludar al personal de montaje que debía iniciar la maniobra y acercándome a un soldador que ya estaba uniendo los últimos tramos de aquella estructura hechiza, le ofrecí un poco de leche que había llevado de Tuxtla Gutiérrez y al tocarle el hombro, volteo a verme y quitándose la careta de soldador exclamó "En la madre, ya amaneció". Era el ingeniero Salvador Del Pozo Mastachi, indignado por no haber terminado su labor antes.

Como consecuencia de la problemática que se presenta al construir una Presa, ya que casi siempre hay que cambiar de sitio a un cierto número de personas que habitan en las riberas del río y por lo tanto en lo que será el nuevo vaso, quedando por consecuencia afectados, tanto en su hábitat como en su medio de vida, además de la importante inversión inicial que se requiere, mucho mayor que la necesaria para una central termocléctrica o nuclear, a partir de 1982, su construcción se vio disminuida considerablemente, dando prioridad a las otras fuentes de energía eléctrica.

Lamentablemente los asentamientos humanos cerca de los ríos son cada vez más numerosos y por lo tanto cada día es más difícil, desarrollar un proyecto hidroeléctrico rentable.

Sin embargo, las Centrales Hidroeléctricas, que deben almacenar cada año el agua de los ríos, durante la época de lluvias, tienen enormes ventajas, siendo una pena que México sea de los pocos países que han desarrollado fuentes alternas, antes de agotar su capacidad para producir esta clase de energía eléctrica.

Las principales ventajas son las siguientes:

- No contaminan.
- La energía potencial se renueva año con año.
- Después de amortizada la inversión inicial, el costo de la generación es mínimo, pues se operan con un número muy reducido de personas y su mantenimiento es mucho menor que en las térmicas o en las nucleares.
- Por no utilizar máquinas de combustión, su vida útil se calcula en 50 años, contra 25 años de las otras, aunque hay varias plantas actualmente trabajando como Necaxa que ya sobrepasó los 100 años o Santa Rosa, que sobrepasa los 50, por citar dos ejemplos.
- El agua que almacenan las presas sirve en muchos casos para riego agrícola en época de secas y en otros como el Proyecto La Parota, agua potable para Acapulco, que le es vital.
- Los lagos se siembran de peces, proporcionando a los habitantes de las riberas una nueva fuente de ingresos.
- Evitan las inundaciones de los poblados que se encuentran en los valles aguas abajo, controlando las avenidas como sucedió En 1999 en Villahermosa, o como en Santiago Ixcuintla, a partir de la construcción de Aguamilpa.
- Son indispensables para proporcionar la energía eléctrica a las horas de máxima demanda diaria, por su característica de iniciar su funcionamiento, sólo abriendo las válvulas que permiten el acceso del agua a las turbinas, casi como si fuera la llave de una tubería común y corriente.
- En muchos casos se pueden desarrollar zonas turísticas como en Valle de Bravo, o Necaxa o como en el desperdiciado y bellissimo Cañón del Sumidero en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Proporcionan durante la construcción una enorme fuente de trabajo a miles de mexicanos, siendo además la componente nacional de los insumos mucho mayor que en las otras fuentes de energía.

CASOS CONCRETOS

Para fortuna de México, La Central Angostura en 1972, se encontraba con un avance superior al 50 por ciento y cuando se produjo el embargo petrolero de los países árabes y el incremento desorbitado en los precios del petróleo, se pudo contemplar la posibilidad de construir La Central Hidroeléctrica Chicoasén. La posibilidad de construir Chicoasén, la presa más alta del mundo en su tipo, se veía muy remota; sólo era posible secando el río Grijalva y eso es exactamente lo que se logró durante 300 días, gracias a que en 1974, se estaba llenando el inmenso vaso de La Angostura, de 15000 millones de M³ de agua, en el mismo río, aguas arriba.

Con este recurso de la imaginación, del tesón, de la planeación y del espíritu de equipo de todos los que colaboraron con el gran Ing. Manuel Moreno Torres, se sincronizó la construcción del túnel de desvío de Chicoasén, con el llenado del vaso de La Angostura, excavando al mismo tiempo un pequeño túnel auxiliar para poder levantar simultáneamente la ataguía de aguas arriba.

Midiendo todas las posibilidades y todos los riesgos y con la firme determinación de no fallar, se realizó esta hazaña. Actualmente Chicoasén es un orgullo de la ingeniería mundial, enclavada en uno de los cañones más altos del mundo y produciendo una inmensa cantidad de energía eléctrica de punta, a muy bajo costo.

En 1990, a la vista del tratado de libre comercio, era indispensable instalar una cantidad considerable de kiloWatts, tanto en plantas Térmicas como en Hidroeléctricas, ya que la capacidad instalada en México no era suficiente para responder a la posible demanda generada por las nuevas industrias que se pensaba llegarían con el tratado, así que en la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la Subdirección de Construcción de la CFE nos dimos a la tarea de construir 5 centrales, que son Comedero, Aguaprieta, Aguamilpa, Zimapán y Ampliación Temascal, construyéndose además otras tantas Plantas Térmicas y gracias a eso y a que la demanda no fue como se esperaba, no faltó la energía eléctrica en aquellos 7 años de austeridad inexplicable, pues si bien es cierto que la CFE ya no tenía capacidad de endeudamiento en 1992, en noviembre de 1993 se aprobó la nueva ley de suministro de energía eléctrica, que ha permitido con un poco de ganas, resolver el problema de financiamiento, sin necesidad de mas cambios a la ley.

Iniciándose en 1989 y poniendo a prueba la capacidad de organización de los mexicanos, La Central Hidroeléctrica Aguamilpa, se construyó en 5 años, rompiendo un record mundial, para hacer frente a la demanda de energía a que me he referido antes y aunque ésta no llegó, la presa sí se terminó en el tiempo programado, cerrando sus compuertas, contra viento y marea, a pesar de los pesares, de los incrédulos y de haber sufrido en enero de 1992, una avenida extraordinaria de 1000 años de periodo de recurrencia, comenzando el llenado del vaso en junio de 1993 y como si fuera un hecho milagroso, se presentó en septiembre de ese año, un ciclón que lo llenó muy aprisa, permitiendo que se iniciara la operación de la planta, un año antes de lo previsto, además de salvar a los poblados del Bajo río Santiago, de una severa inundación.

Es una pena que El Sistema Hidroeléctrico Usumacinta, esté suspendido, al no haberse resuelto su construcción por razones como las arqueológicas y diplomáticas, sin argumentos serios que contrarresten el enorme beneficio que aportaría a la península de Yucatán, pudiendo exportar esta energía a Centroamérica. Considero importante apuntar en este momento que el río Usumacinta es por mucho el río más caudaloso de México.

La producción de la Central Hidroeléctrica Comedero, ubicada en el río San Lorenzo, con capacidad para generar 110 MegaWatts, está muy limitada por la extracción de agua para riego, que realiza la CONAGUA. Cuyo programa difiere considerablemente de las necesidades mensuales, diarias y horarias de suministro de energía eléctrica.

CFE desarrolló en 1992, el proyecto Amata, presa reguladora, para que se solucionara esta deficiencia, amortizándose la inversión en 5 años, sólo con la generación adicional de Comedero, afortunadamente ya se está construyendo.

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, que visitaremos mañana, enclavado en la Sierra Madre Occidental, a escasa hora y media de Tepic, Nayarit, es un ejemplo de lo que puede lograrse con la voluntad de todos, donde trabajan actualmente cerca de 5000 personas, haciendo posible la reactivación de esta fuente tan importante de empleos, de desarrollo de infraestructura, y sobre todo de esperanza, al abrir inmensas posibilidades de crecimiento, como es el hecho de haber construido una carretera de 42 kilómetros para llegar al sitio de las obras, que junto con el puente Santiago, permitirá a los habitantes de la margen derecha del río, llegar a Tepic, superando el

aislamiento en que han vivido desde siempre. Es importante señalar que el nuevo modo de contratar, a base de un proyecto llave en mano, con financiamiento incluido, es decir, un Proyecto de Inversión Diferida al Gasto, está dando resultados asombrosos; ya que el mas interesado en terminar antes de la fecha programada, es el contratista, por razones obvias, a tal grado que, además de la experiencia adquirida en Aguamilpa, a pesar de los inconvenientes del inicio, a dos años de haberse iniciado, ya tenemos el 50% de avance en la obra y de no presentarse algún serio imprevisto, acortaremos el record de Aguamilpa en un año.

Cabe mencionar que este nuevo "record" que está logrando el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, se desarrolla cumpliendo con los más altos estándares de calidad de los procesos, seguridad en trabajadores e instalaciones y protección al ambiente, cumpliendo con una normativa nunca antes tan exigente, a través de la aplicación de los Sistemas de Calidad, Ambiental y Seguridad, y con un enfoque marcado de respeto de las exigencias y necesidades de los afectados por la construcción del Proyecto, realizando acciones para mejorar la calidad de vida y la reducción del desequilibrio social en que se encuentran, hasta el limite de nuestras posibilidades.

Sólo se ha desarrollado el 30% del potencial Hidroeléctrico de nuestro país, habiendo muchos proyectos rentables pendientes, como por ejemplo, los siguientes:

La Yesca en el río Santiago, La Parota en el río Papagayo, El Sistema Usumacinta, en la sierra de Chiapas, Zúchiles en el río Blanco, Pozolillo en el San Pedro y varios equipamientos de presas para riego ya construidas, que resultan muy económicos, como San Rafael en el Santiago, Tomatlán en Jalisco, El Gallo en Guerrero, El acueducto Mexicali Tecate, una planta de rebombeo aprovechando las instalaciones de Valle de Bravo, etcétera, etcétera.

En la Gerencia Técnica de Proyectos Hidroeléctricos, dependiente de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, se conserva toda la información, pues todos los ríos han sido estudiados, aunque no todos los proyectos terminados. Ha sido un trabajo titánico, que no es justo que se abandone, permitiendo tristemente que año con año, el agua de muchos de ellos, se regrese al mar, sin ningún beneficio. Sin ir más lejos, en la cuenca del Santiago, hay 23 sitios estudiados.

Con estos ejemplos queda claro que es indispensable continuar para siempre con esta política de impulsar la energía hidroeléctrica, a base de PIDIREGAS, como palanca de desarrollo futuro para los mexicanos, resolviendo seriamente y con equidad las afectaciones a los habitantes aledaños.

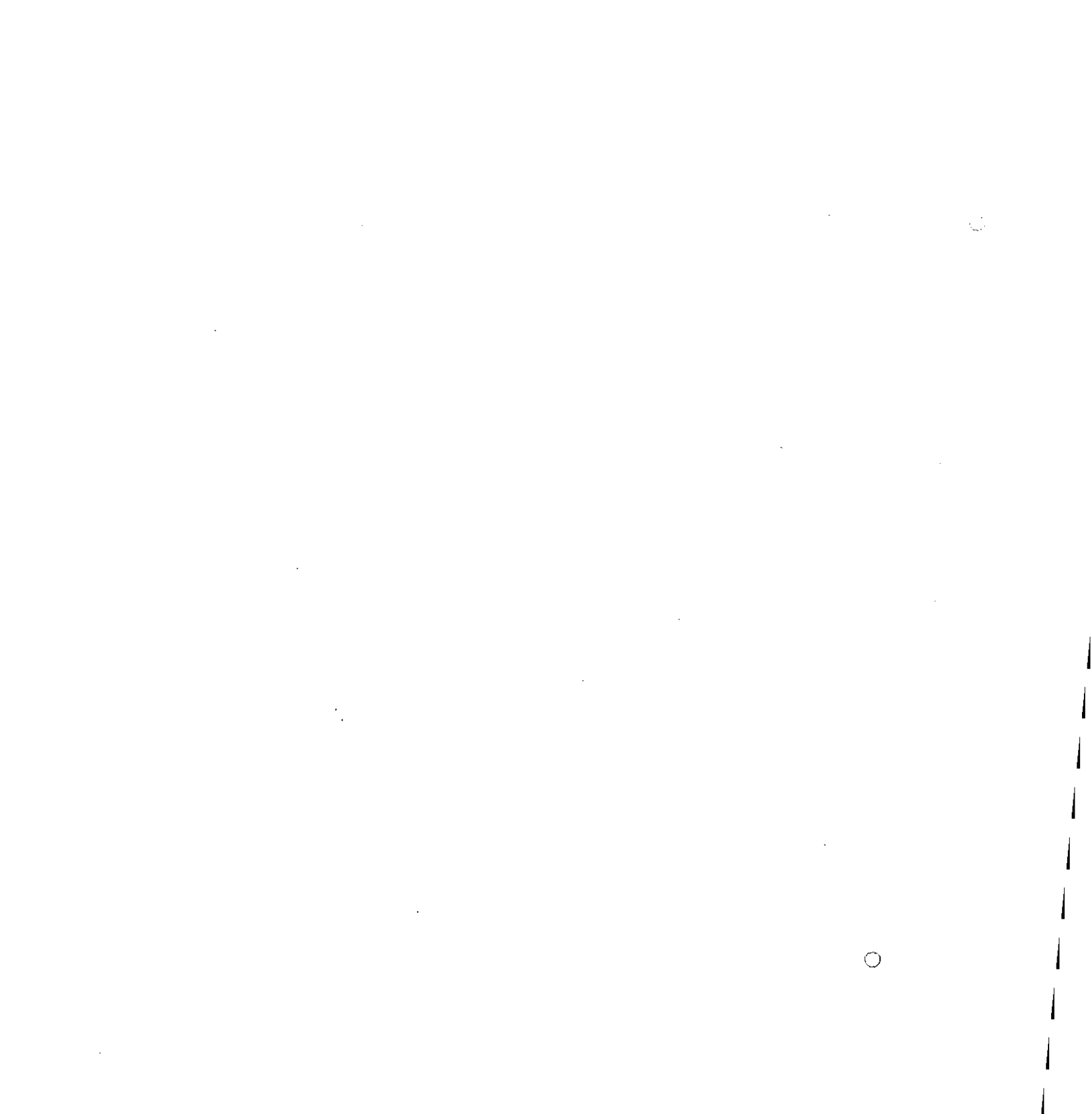
Para terminar, es importante hacer notar, que para el año 2009 es necesario disponer de nuevas Plantas Hidroeléctricas capaces de generar 3600 MegaWatts, indispensables para producir la energía a las horas de máxima demanda diaria, reto que no se ve sencillo, si a la fecha en 60 años de vida de la CFE se han instalado en plantas hidroeléctricas, únicamente 12 000 MegaWatts.

Esperando que esta información haya aportado datos interesantes, me es grato despedirme de ustedes, no sin antes desearles el mayor de los éxitos en sus actividades.



*Las Presas
y el Hombre*

**Operación, mantenimiento
y seguridad de presas**



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PRESAS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ing. Jorge Alberto Hernández de la Torre

RESUMEN

Se describen las experiencias y metodologías utilizadas para realizar la operación de presas asociadas a centrales generadoras así como la forma de realizar los mantenimientos civiles de estas estructuras; en este último caso se ilustran estas actividades con casos de estudio.

La operación y mantenimiento de las presas para generación de energía eléctrica representa una actividad cotidiana en el quehacer de los ingenieros encargadas de ellas, sin embargo se destaca su importancia cuando desafortunadamente se realiza una operación inadecuada o bien cuando la falta de mantenimiento origina un comportamiento anormal. En este documento se describen en forma general la manera como se realizan estas actividades en presas que tienen asociada una central hidroeléctrica y que son el resultado, en el primer caso de una serie de estudios técnicos encaminados a obtener el mayor beneficio de la energía potencial del agua sin descuidar el aspecto de seguridad asociado con estas estructuras. Para el caso del mantenimiento debe señalarse que en general una presa, de acuerdo a los criterios de diseño utilizados en su concepción se asume segura, sin embargo los aspectos de su conservación, si no son realizados en forma permanente pueden disminuir en forma importante los márgenes de seguridad con que fueron concebidas. En este último caso debe enfatizarse la importancia que tiene el monitoreo de su comportamiento, por otra parte cabe señalar que la inspección frecuente de estas obras dará la pauta para la detección oportuna de requerimientos de actividades de mejora o rehabilitación como se mencionará más adelante.

La operación de las presas para generación de energía requiere de una coordinación interinstitucional, en el que la Comisión Nacional del Agua (CNA) es el órgano rector, y más específicamente el Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas en el que participan el grupo directivo de la propia CNA encabezado por su director general, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) entre otros; por parte de la Comisión Federal de Electricidad participan representantes del Centro Nacional de Control de Energía y de la Subdirección de Generación; de aquí se derivan los principales lineamientos operativos tendientes a lograr un aprovechamiento racional y seguro del recurso tomando en cuenta todos los intereses involucrados. En el seno del CTOOH se dictan los lineamientos operativos en función del objetivo primordial con que fue concebida la presa, a saber Agua Potable, Riego, Control de Avenidas, Generación de Energía o de Usos Múltiples; un papel preponderante lo juega asimismo la Capacidad de almacenamiento asociada al aprovechamiento o capacidad útil, como la correspondiente al Control de Avenidas. Destaca por su importancia el aspecto de la **Seguridad** tanto de las obras civiles como de los mecanismos electromecánicos que forman parte del aprovechamiento así como las condiciones aguas debajo de la presa que pueden modificar sustancialmente las políticas operativas principalmente cuando existen restricciones de capacidad de conducción del cauce bajo, ya sea por reducción en su capacidad de conducción o por asentamientos humanos dentro o aledaños al cauce.

Para el caso de la CFE las políticas de operación están normadas por los siguientes aspectos adicionales:

- Seguimiento de las curvas guía establecidas por el CTOOH
- Disponibilidad de agua para otros usos (riego)
- Disponibilidad de Unidades Generadoras a nivel Nacional
- Despacho económico de Energía
- Probabilidad de aportaciones
- Aspectos Ecológicos
- Margen de reserva de Energía

Estos aspectos son determinados en forma conjunta entre el CENACE y la Subdirección de Generación, siendo la primera quien tiene los elementos de juicio referentes a la demanda de energía a nivel nacional y los recursos para atenderla.

Dentro de las normas operativas se destacan las siguientes Estrategias que complementan el espectro operativo de la Hidroeléctricas:

- Lograr la máxima Energía Almacenada al final de la Temporada de lluvias
- Evitar en lo posible derrames por el vertedor de excedencias
- Operar con óptimas condiciones de seguridad
- Dar mantenimiento oportuno a estructuras civiles y equipos operativos
- Obtener la mayor producción energética de acuerdo al equilibrio Aportaciones – Extracciones
- Mantener el equilibrio entre la operación de las Centrales Hidroeléctricas y otras tecnologías.

Como resultado de la aplicación de todos estos factores, se elaboran los programas de generación para cada una de las centrales hidroeléctricas con diferentes escenarios de aportaciones, de las cuales se obtienen las curvas de vaciado y llenado de las presas que las alimentan

Algunos de estos aspectos operativos quedan asimismo plasmados en la curva de energía almacenada para el año 2005, que integra la evolución de los niveles en las grandes presas, su almacenamiento y su capacidad de generar energía a lo largo del año; en este caso la comparación se hace entre lo pronosticado y lo que se tiene actualmente, la desviación ocurre por que el predespacho de energía con que se elaboró esta curva consideraba aportaciones de año seco, lo cual no ha ocurrido. Otro elemento de apoyo lo constituyen la familia de curvas de niveles registrados en los últimos años y su comparativo con la curva guía establecida por el

CTOOH, se muestra ahora esta gráfica tanto para el caso de la presa de Infiernillo como de Malpaso, y las variaciones reflejan el comportamiento hidrológico y los aspectos operativos. Como puede observarse en la operación de las presas intervienen una gran diversidad de factores, dentro de los que destaca por su importancia el aspecto de Seguridad Hidráulica y Estructural a los que me referiré ahora. En el primer caso y para la planeación ya no de largo plazo sino aquella asociada al control de avenidas, dentro de CFE se cuenta con procedimientos prácticos denominados "Política de Operación de Vertedores" el cual es una guía detallada de como operar la válvula de seguridad de la presa que es precisamente su vertedor de excedencias; este documento contiene la siguiente información: Característica Generales del aprovechamiento, Detalles de la Avenida a Controlar así como su identificación, Política de niveles a manejar, procedimiento de operación de las compuertas del vertedor y Flujo de información hacia el interior y principalmente hacia las dependencias involucradas en la operación del vertedor, todo ello en caso de requerir operar esta estructura. Esta política está apoyada en un conocimiento detallado de las condiciones hidroclimáticas no solamente en la cuenca que aporta al embalse sino también aguas abajo del mismo, para ello se tiene disponible la edición de un boletín que muestra las condiciones meteorológicas imperantes e información de las redes de alertamiento que se tienen implementadas en las principales cuencas hidrológicas; estos sistemas actualmente enfrentan un proceso de modernización con la última tecnología para recepción de información en tiempo real vía satélite; ejemplo de esto es la red piloto que se tiene actualmente en desarrollo en la cuenca de la C.H. Carlos Ramírez Ulloa El Caracol.

Otro de los aspectos muy importantes que sin duda van a garantizar la adecuada operación de una presa lo constituye al aspecto relacionado con la Instrumentación de Presas que tiene por objetivo el Vigilar la evolución del comportamiento de la misma y que mide diversas variables, principalmente asociadas a la cortina, como son Desplazamientos, Asentamientos, Giros, niveles piezométricos, filtraciones, vibraciones, etc., sin embargo este es un tema de especialidad que en esta oportunidad únicamente se menciona como elemento básico que apoyará una operación correcta y que también debe considerarse en los aspectos de mantenimiento para garantizar que el sistema de monitoreo opere adecuadamente.

Pasemos ahora al tema de Mantenimiento Civil a las presas de CFE; esta tarea se ha encomendado a al Gerencia de Ingeniería Civil de la Subdirección de Generación y queda plasmada en su misión que reza:

Asegurar la disponibilidad, confiabilidad y adecuada operatividad de las obras y estructuras civiles que conforman las Centrales Generadoras, así como garantizar el adecuado uso del recurso agua en los procesos de generación eléctrica a través de acciones oportunas y económicamente apropiadas.

Para apoyar esta actividad se tienen establecidos procedimientos de inspección de Centrales Hidroeléctricas, documento que fue elaborado en base a la experiencia operativa de mas de 50 años y que conjuntamente con las inspecciones realizadas por el área electromecánica permiten detectar oportunamente la problemática de mantenimiento que enfrentan estas centrales, esta información conjuntamente con el reporte correspondiente permiten la planeación del mantenimiento. Estos documentos se encuentran disponibles para su consulta en la CFE y podríamos hablar del contenido del mismo en sesiones que rebasan el espíritu de esta plática, sin embargo he preferido ejemplificar el uso de este procedimiento con casos de estudio.

- **C.H. Carlos Ramírez Ulloa.**

Sustitución de los elementos de soporte del vertedor de la presa.

- **C.H. Tuxpango, Ver.**
Construcción de desarenador y nueva obra de toma.
- **C.H. Infiernillo, Mich.**
Sobreelevación de la corona de la presa.
- **C.H. Botello.**
Sustitución de la Tubería a presión.
- **C.H. Huites.**
Estabilización de bloques inestables en margen derecha
- **Corrosión en Centrales Hidroeléctricas.**

CONCLUSIONES

Las actividades relacionadas con la operación y el mantenimiento de presas para generación de energía eléctrica involucran una gran cantidad de factores a ser tomados en cuenta muchos de los cuales requieren de la experiencia así como de un conocimiento de las condiciones del sistema eléctrico nacional, el aspecto de seguridad resulta especialmente importante así como la satisfacción de los diversas demandas asociadas a una presa que almacena este vital recurso que es el agua.

LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS EN MÉXICO

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés

Ing. Ulrich Hungsberg

Ing. Paúl Alfaro Nava

RESUMEN

La Comisión Nacional del Agua tiene un inventario de más de 4000 presas. Se estima un número importante adicional de éste tipo de obras aún no registradas. Existen 828 presas grandes con altura igual o mayor de 15 m, además de numerosas presas intermedias, de las cuales una parte importante ha envejecido con efectos desfavorables en su integridad estructural. Por otro lado, el crecimiento de la población y los nuevos desarrollos han incrementado las posibles consecuencias de la falla de una presa o de una descarga normal o extraordinaria por sus estructuras de desfogue.

Sólo el 27% de las presas son de propiedad federal, mientras que la mayor parte corresponde a particulares, asociaciones de usuarios y a los gobiernos estatales, que generalmente no cumplen con los requisitos mínimos de mantenimiento y operación.

La CNA sigue trabajando en la actualización del inventario de presas y la ejecución de inspecciones de Seguridad de Presas. Se está formulando un Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana de "Requisitos Generales de Seguridad de Presas", que permita efectuar la revisión de todas las presas registradas en un tiempo razonable.

INTRODUCCIÓN

México es un país que tiene un largo historial de construcción de presas desde el tiempo de la Colonia hasta hoy. Se podría decir, que esta actividad se intensificó después de la Revolución cuando se fundó la Comisión Nacional de Irrigación en 1938, para transformarse en 1947 en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, pasando en 1977 a formar parte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y desde 1989 a la Comisión Nacional del Agua (CNA). En cada etapa se construyeron muchas presas y generalmente se aplicaban las mejores prácticas de diseño para lograr obras "seguras", que no constituyeran un riesgo inaceptable para la población, sus bienes y la infraestructura aguas abajo.

Sin embargo, las prácticas y criterios de diseño de presas han evolucionado y seguramente muchas de las presas antiguas, ya no cumplen con los requisitos de seguridad actuales o los materiales con que fueron construidas se han deteriorado o envejecido, aumentando la posibilidad de una falla de las mismas.

Por otro lado, cuando se construye cualquier presa o bordo, se incrementa el riesgo original antes de la construcción de la obra, para la población asentada aguas abajo. Estos riesgos también se incrementan al ocurrir cambios en el uso de la tierra y aumentos en la población aguas abajo.

¿QUÉ ES SEGURIDAD DE PRESAS?

Seguridad de Presas es la ciencia que permite preservar la integridad estructural y funcional de las presas existentes, de las nuevas por construirse o en proceso de construcción o modificación, o de aquellas que requieran ponerse fuera de servicio, para reducir los riesgos de falla de las mismas o de descargas normales y extraordinarias, que puedan ocurrir para atenuar amenazas a la población, sus bienes, así como a la infraestructura y el medio ambiente en su entorno geográfico.

Los embalses que se forman con la construcción de cortinas, se operan para abastecimiento de agua, riego agrícola, generación de energía eléctrica, control de inundaciones, entre otros usos. Al mismo tiempo e inevitablemente constituyen un riesgo ante una eventual falla de la presa o descargas normales o extraordinarias de sus obras de desfogue.

Por lo anterior, la seguridad de las presas debe ser un aspecto importante en el manejo y aprovechamiento de los almacenamientos en los embalses. Una herramienta de la seguridad de presas es la evaluación permanente del riesgo, que permite definir estrategias y alternativas de atenuación o mitigación de los mismos, por medio de la implementación de medidas para evitar riesgos inaceptables a la población, sus bienes y a la infraestructura ubicados aguas abajo de las presas

En consideración de lo anterior, es necesaria la aplicación conjunta de conceptos de ingeniería de presas, experiencia y de una filosofía de administración de riesgo, que reconoce a una presa como una obra cuyo comportamiento estructural y funcional seguro, no está determinado explícitamente por su diseño original y su construcción.

Además, debe incluir también todas las acciones necesarias que se deben tomar en cuenta para identificar o predecir deficiencias y consecuencias relacionadas con una falla de la presa o descargas normales y extraordinarias, por lo que todas las situaciones se deberán documentar e informar para prevenir o reducir cualquier riesgo a un nivel aceptable.

Cabe señalar que varios países ya cuentan con normas oficiales o lineamientos de seguridad de presas como Alemania, Argentina, Canadá, España, Estados Unidos de Norteamérica, Guatemala, Nueva Zelanda y Sudáfrica, entre otros.

REQUISITOS PARA UN PROGRAMA DE SEGURIDAD DE PRESAS

Los requisitos para que pueda operar eficientemente un Programa de Seguridad de Presas son los siguientes:

- Tener un conocimiento detallado de las presas existentes y su entorno
- Disponer de una normatividad que establezca la responsabilidad de los propietarios en la Seguridad de las Presas y fije las reglas que deberán aplicarse para promoverla desde su concepción, estudio, diseño, construcción, operación, mantenimiento, vigilancia y puesta fuera de servicio
- Disponer de recursos financieros, materiales y humanos, que garanticen una vigilancia, mantenimiento especializado de las presas y su entorno acorde con el grado de riesgo que tengan.

Para lograr lo anterior, es necesario establecer compromisos para revisar, inspeccionar, evaluar y documentar en forma permanente los estudios, el diseño, la construcción, operación, el mantenimiento y la rehabilitación de todas las presas.

También es necesario diseñar e implementar Planes de Preparación para Emergencias y sistemas de alertamiento en las presas con riesgo significativo y consecuencias altas, para prevenir a la población y/o las infraestructuras expuestas.

Los programas de seguridad de presas deben inspirar y promover una conciencia para reconocer el riesgo potencial que representan las presas para sus dueños, los usuarios, la población y las autoridades de gobierno local y nacional, que deben tomar decisiones. También deben incluir la elaboración de informes periódicos sobre los avances en la implementación del mismo, tanto en el ámbito local como nacional.

La clave para lograr estos requisitos es formar, entrenar y conservar un equipo de personal especializado capacitado en Seguridad de Presas.

ESTADO ACTUAL DE LA SEGURIDAD DE PRESAS EN LA CNA

Actualmente la CNA maneja una base de datos con un sistema informático de las características de las presas y de los informes técnicos de inspecciones efectuadas.

Contiene un inventario de 4083 presas, (Figura 1). Se considera que existe un número importante adicional de presas y bordos, que no han sido registrados, tomando en cuenta que varios gobiernos estatales están implementando campañas intensivas de construcción de estos últimos. Muchas de estas presas y bordos causan incidentes, fallas y emergencias que tiene que atender la CNA.

De acuerdo con la altura de sus cortinas, se tienen en México 828 grandes presas con alturas mayores o iguales a 15 m, las cuales incluyen las de más reciente construcción (Figura 2).

De las presas existentes en México, una parte importante fue construida hace algunas décadas (Figura 3) y ya no cumplen con los criterios de diseño modernos conforme al estado actual del conocimiento y la práctica de construcción de las mismas; otra parte importante de las presas ha envejecido con efectos desfavorables en su integridad estructural. Por otro lado, el desarrollo y crecimiento de la población y de la infraestructura aguas abajo de las mismas, ha incrementado las consecuencias asociadas a su posible falla.

Una gran parte de las presas en México han sido estudiadas, diseñadas y/o construidas en el siglo pasado con recursos federales y actualmente muchas de ellas han sido transferidas a asociaciones de usuarios (distritos de riego, unidades de riego, ejidos, etc.). Con la información actual, se tiene identificado que las Asociaciones de Usuarios y los Particulares tienen a su cargo la mayor parte de dichas estructuras, otra buena parte está a cargo de particulares y la Comisión Nacional del Agua, y en menor medida los Gobiernos Estatales, la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) (Figura 4). Lo anterior, significa que sólo el 27% de las presas registradas son de propiedad federal.

Es conveniente señalar que las presas que están a cargo de la federación son las que se encuentran en mejor estado de operación, conservación y seguridad. Sin embargo, existen miles de presas de particulares, generalmente medianas o pequeñas que no cumplen con estos requisitos y requieren urgentemente de la aplicación de una normatividad de Seguridad de Presas, ya que son las que más fallan o generan emergencias.

Debido a lo anterior, es indispensable continuar con la identificación de las demás presas, de las que no se tiene registro, así como identificar a su propietario y sus datos básicos, para realizar una clasificación de su grado de riesgo.

Para lograr lo anterior, es necesario, que se establezcan las bases legales, para que cada propietario y/o operador de una presa tenga la obligación de obtener una concesión o asignación emitida por la Comisión para operarla.

La responsabilidad de operar, mantener y conservar la seguridad de la presa, así como de las consecuencias en caso de una rotura o falla de la cortina o la ocurrencia de descargas extraordinarias o normales o por una mala operación, es única y exclusivamente del propietario y/o operador solidario de la presa. Para lo anterior, la CNA debe implementar un programa conveniente de seguridad de la presa de acuerdo con una clasificación de consecuencias que se defina; éste deberá incluir:

- 1) Inspecciones y Evaluación de la Seguridad de la Presa
- 2) Operación, Mantenimiento y Vigilancia documentados
- 3) Preparación de Planes de Atención de Emergencias

Cada presa deberá ser clasificada en términos de su confiabilidad estructural y funcional, de las consecuencias de una posible falla de la presa y de las correspondientes a descargas normales y extraordinarias.

Los determinantes de ésta clasificación deben incluir la posibilidad de pérdida de vidas humanas, la extensión de los daños aguas abajo y su valor estimado de restauración, así como las consecuencias sobre el medio ambiente en el entorno geográfico de la presa.

ACTIVIDADES RECIENTES DESARROLLADAS POR LA CNA

Durante el 2004, se efectuaron más de 370 inspecciones de seguridad de presas tanto por la Gerencia del Consultivo Técnico como por personal de las Gerencias Regionales y Estatales, en las que se detectaron 10 presas con riesgo alto y 25 con riesgo medio, que fueron atendidas oportunamente y en donde se recomendaron las acciones correctivas pertinentes.

Actualmente se está desarrollando un nuevo sistema informático de la base de datos de presas con acceso a través de Internet, para simplificar la integración de la información desde las oficinas foráneas de la CNA.

Para el presente año se tiene planeado continuar con las inspecciones de seguridad de presas con una meta del orden de 400 vistas técnicas.

Por otro lado, se está trabajando en la elaboración del Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana "Requisitos Generales de Seguridad de Presas", en el desarrollo de un Sistema Simplificado de Evaluación de Riesgo en Presas y en la interpretación de imágenes satelitales, en colaboración con la Unidad del Servicio Meteorológico Mexicano, para la localización e identificación de cortinas y embalses que se integrarán al Registro Nacional de Presas.

La generación de conocimiento en el sector hídrico se origina en la producción científica y tecnológica, la acumulación y transmisión de dicho conocimiento ha sido fundamental para la formación de los técnicos e investigadores que han concebido, diseñado y construido la inmensa

e impresionante infraestructura hidráulica existente a nivel mundial. México no es ajeno a este beneficio social y gracias a la capacidad de sus ingenieros cuenta, entre su infraestructura hidráulica, con más de 4,800 presas a lo largo y ancho de su territorio. Esta infraestructura le permite almacenar más de 180,000 millones de metros cúbicos de agua, recurso que es utilizado para fines de riego, generación de energía eléctrica y dotación de agua para las zonas urbanas, entre otros usos, beneficiando directa o indirectamente a los más de cien millones de habitantes con que cuenta actualmente el país.

Lo anterior es una muestra palpable de que la ingeniería hidráulica es parte del motor del desarrollo de los pueblos y por consecuencia es un indicador del compromiso que dicho campo de la ingeniería tiene con la sociedad. No obstante, el día de hoy debemos de reconocer que el desarrollo y el crecimiento de la infraestructura hidráulica nacional se ha reducido en las últimas décadas, esto en detrimento del propio desarrollo del país y de la calidad de vida de su población. Al respecto no solamente se ha frenado la construcción de grandes obras sino que se han disminuido las inversiones en lo que se refiere a la rehabilitación y la conservación de las ya existentes. De esta manera un buen porcentaje de las presas ya han alcanzado su vida útil y en consecuencia, debido principalmente a la acumulación de azolve, su capacidad de almacenamiento se encuentra mermada; simultáneamente y por efecto del envejecimiento y el deterioro físico-químico de los materiales que la conforman, así como a los asentamientos naturales y a las deformaciones locales derivadas de los eventos sísmicos, entre otros factores, su resistencia estructural se encuentra afectada poniendo en riesgo su seguridad.

Para atender esta problemática, en algunos casos es necesario sobreelevar las cortinas o extraer los azolves para restituir parcial o totalmente la capacidad de almacenamiento que han perdido y en otros se requiere su rehabilitación y reforzamiento para incrementar su seguridad estructural. Como medida complementaria para incrementar su vida útil se debe fomentar la reforestación en las cuencas de captación para reducir la erosión y consecuentemente la acumulación de azolve en los vasos de almacenamiento.

También debemos ser conscientes de que la mayoría de las presas con que cuenta el país se diseñaron con base en información y estudios hidrológicos poco confiables y obsoletos, por lo que es necesario hacer una revisión de las avenidas de diseño con el fin de contrastarla con su capacidad de regulación en el vaso y de descarga a través de las obras de excedencia. La experiencia indica que al realizar el redimensionamiento de las estructuras de excedencia, para las avenidas de diseño calculadas con técnicas más precisas, las existentes son insuficientes. Este es un problema muy serio ya que es la principal causa de fallas de presas a nivel mundial. Para atender esta problemática se requiere complementar el redimensionamiento teórico con la modelación física de su funcionamiento hidráulico en los laboratorios de hidráulica.

Si bien las presas de almacenamiento se encuentran entre las obras de ingeniería más grandes y espectaculares que el hombre ha construido, no hay que perder de vista que la problemática asociada con el impacto ambiental y social que producen, en comparación con los beneficios derivados de las mismas, es un tema sumamente complejo que requiere de una atención especial y de la integración de grupos interdisciplinarios que al sumar y multiplicar sus capacidades encuentren las soluciones y los satisfactores que permitan continuar con su aprovechamiento y justificar su construcción dentro de un esquema que garantice el desarrollo sustentable de sus zonas de influencia. Al respecto se debe tomar en cuenta que las grandes presas, entre otros beneficios, fomentan la producción piscícola, el turismo, la agricultura, la generación de energía limpia, el suministro de agua potable, el desarrollo industrial, a la vez que permiten salvaguardar vidas y patrimonios al reducir las inundaciones a través del control de avenidas.

Por otro lado, el uso, manejo y la operación de dicha infraestructura no ha sido la más eficiente y consecuentemente los beneficios derivados de su aprovechamiento son menores a los que se obtienen en países tecnológicamente más avanzados. En este sentido se observan grandes retrasos tecnológicos en aspectos tan básicos como el control y la medición de las variables hídricas en las presas. Si bien es un tema prioritario para la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad aún son muy pocas las grandes presas que cuentan con sistemas automáticos para la medición, captura, transmisión y procesamiento de los caudales y volúmenes que ingresan, se almacenan y se extraen de sus vasos. Derivado de la falta de sistemas de medición continua y confiable se dificulta y complica la aplicación e implementación de las políticas de operación y asignación así como el suministro del recurso con base en la dotación volumétrica asociada con la demanda de sus usuarios.

Lo anterior se magnifica en algunas presas en las que se ha cambiado su objetivo original, como en los casos en que fueron construidas con fines de riego y generación y que en la actualidad también se aprovechan para suministro de agua potable y con fines recreativos.

Debido a que recién se inicia una nueva etapa en la construcción de grandes presas en el país y dado que hay un fuerte impulso para la rehabilitación y actualización tecnológica de las ya existentes, es necesario que en las universidades y en los centros de especialización se capacite a las nuevas generaciones de profesionistas que heredarán y enfrentarán estos nuevos retos. Con estos nuevos talentos se deberán integrar grupos interdisciplinarios que tomen en cuenta los diversos usos del agua sin perder de vista las restricciones e impactos socio-ambientales. Estos grupos deberán ser capaces de generar conocimiento y desarrollar tecnología a través de la búsqueda de nuevas técnicas, herramientas y materiales para economizar y hacer más eficiente la construcción, la rehabilitación y la modernización de éstas magnas obras de la ingeniería hidráulica.

Sin lugar a dudas, la problemática asociada con el desarrollo sustentable de las presas es un reto para los docentes, los investigadores y los desarrolladores de tecnología de cualquier región; al respecto la comunidad científica y tecnológica de México es muy conciente y realiza esfuerzos concretos para atenderla. Al respecto y como muestra del trabajo que se realiza, a continuación se presentan cuatro ponencias que integran parte del conocimiento y de la experiencia de un destacado grupo de especialistas adscrito a diversas universidades e instituciones del país:

1. La modelación física y la investigación experimental como soporte para el diseño, el funcionamiento y la seguridad de las grandes presas en México.
2. Sistemas automáticos para la medición de caudales en las grandes presas de México
3. La investigación y el desarrollo tecnológico de la geotecnia aplicados a presas.
4. Aspectos de hidrología de presas: diseño y operación.

CONCLUSIONES

- Con recursos humanos y financieros actualmente disponibles en la CNA, no es posible revisar en un tiempo razonable las 4000 presas, de las que se tiene información parcialmente validada a la fecha

- Es muy probable de que exista un número mucho mayor de presas aún no detectadas, por los programas de construcción de los gobiernos de los estados; en éstos muchas veces los diseños no cumplen con los requisitos mínimos de seguridad, y la CNA no llega a tener conocimiento por la falta de una normatividad que regule la construcción de presas así como de recursos humanos y financieros para poder llevar un control
- Es indispensable emitir una Norma Oficial Mexicana de Seguridad de Presas, que deberá establecer claramente la responsabilidad de los propietarios y/o operadores con relación a la operación, mantenimiento, vigilancia y reducción del riesgo de las consecuencias de la posible falla de sus presas, ya que la mayor parte de las mismas actualmente registradas son propiedad de las asociaciones de usuarios, particulares, gobiernos de los estados y sólo el 27% de la Federación.

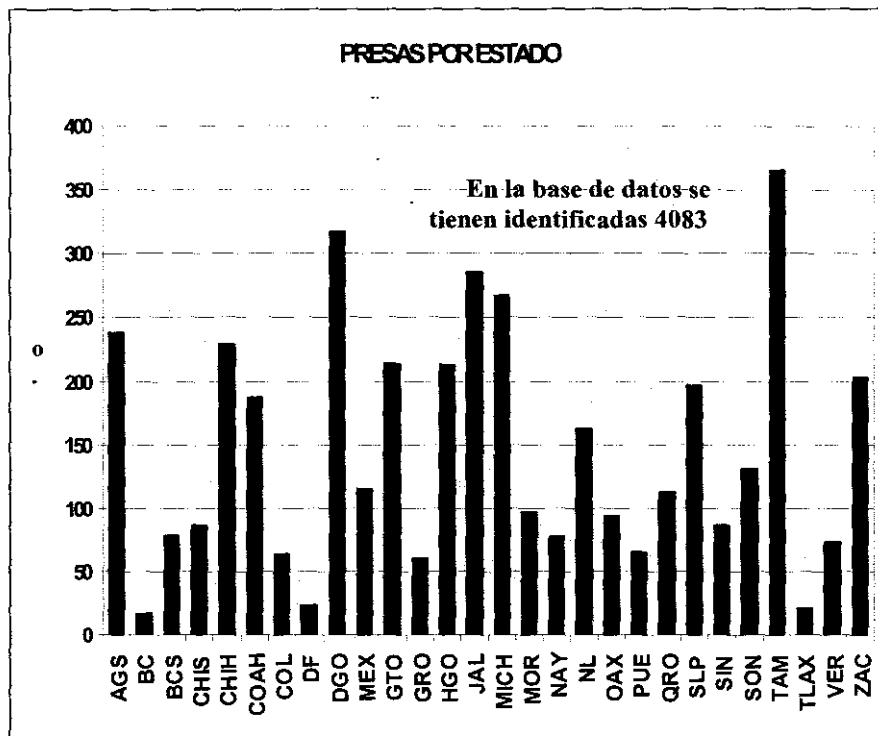


Figura 1. Número de presas registradas por estado, CNA, 2005.

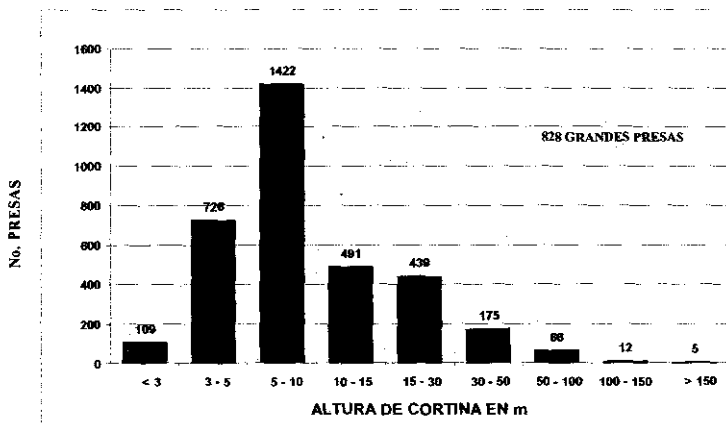


Figura 2. Distribución de presas por altura, CNA, 2005.

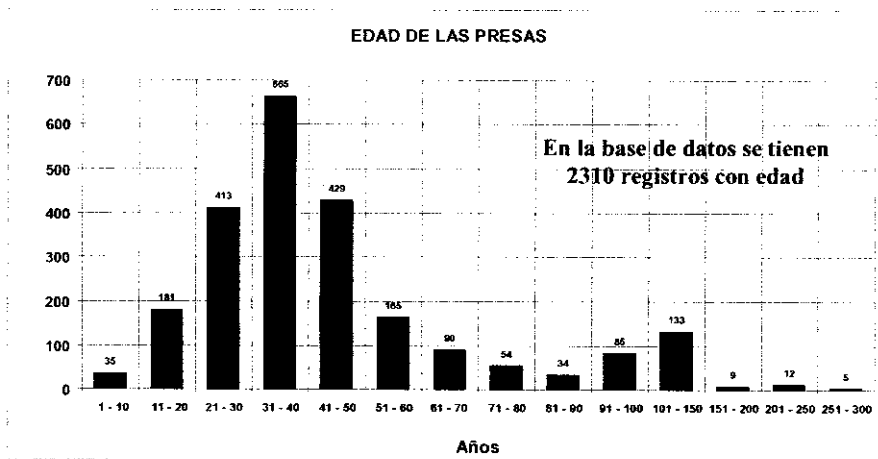


Figura 3.
Edad de las presas construidas en México, CNA, 2005.

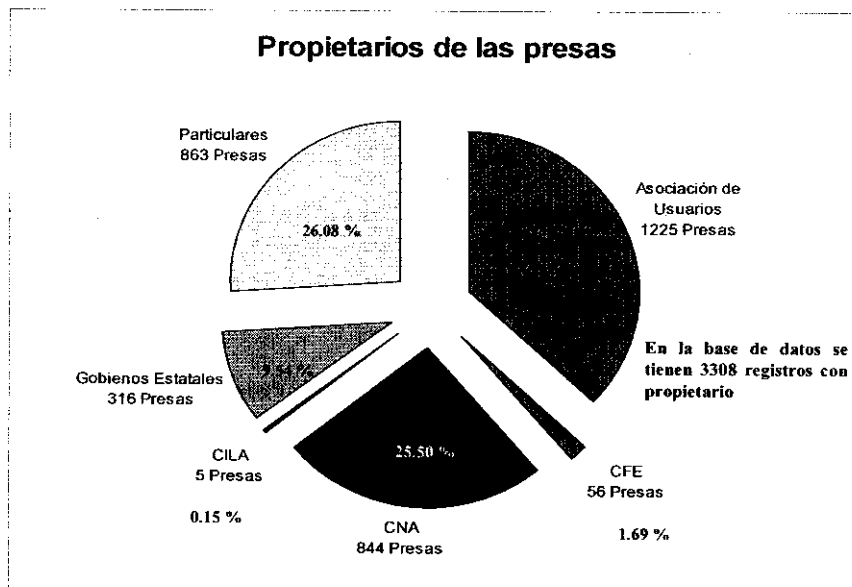


Figura 4. Propietarios de las presas en México, CNA, 2005.

REFERENCIAS

- ♦ **Base de Datos** del Sistema de Seguridad de Presas de la Gerencia del Consultivo Técnico, 2005
- ♦ **B.C Hydro**, Dam Safety Guidelines for Surveillance of Dams, Director of Dam Safety, ER151, Canada, Mayo 1985.
- ♦ **Blasco, E. y Ortega, E.**, La Seguridad de Presas es un Servicio Público, Organismo Regulador de Seguridad de Presas, 7 páginas, Argentina, Marzo 2004.
- ♦ **British Columbia**, Ministry of Environment, Lands and Parks, Inspection & Maintenance of Dams, Dam Safety Canadian Dam Association (CDA), Dam Safety Guidelines, Edmonton, Canadá, Enero, 1999.
- ♦ **Comisión Nacional de Energía Eléctrica**, Normas de Seguridad de Presas, Septiembre de 1999, 58 páginas, Guatemala, C.A.
- ♦ **Federal Energy Regulatory Commission (FERC)**, United States, Office of Hydropower Licensing, Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, FERC 0119-2, U.S. Department of Energy, 164 páginas + apéndices, Washington DC, Abril 1991.
- ♦ **International Commission On Large Dams (ICOLD)**, Bulletin 59: Dam Safety Guidelines, 185 páginas, París, Francia, 1987.
- ♦ **International Commission On Large Dams (ICOLD)**, Bulletin 61: Dam Design Criteria: The Philosophy of Their Selection, 83 páginas, París, Francia, 1988.
- ♦ **New Zealand Society On Large Dams**, New Zealand Dam Safety Guidelines, 42 páginas, Noviembre 2000.
- ♦ **Norma DIN 19700**, Wasserbau 1, Normen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Alemania, 541 páginas, Enero 2005
- ♦ **Reglamento Técnico Sobre Seguridad De Presas y Embalses**, España, 23 páginas, Julio 2004.
- ♦ **Rettemeier, K. et al.**, New Developments in Dam Safety – Feasibility Evaluation on Risk Assessment, Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management Aachen University of Technology, Aachen, Germany, 6 páginas, Feb 2002.

- ◆ **Sieber, H-U.**, Hazard And Risk Assessment Considerations In German Standards For Dams – Present Situation And Suggestions, 20° Congreso de Grandes Presas, Beijing, China, 18 páginas, 2000.
- ◆ **U.S. Army Corps of Engineers**, Safety Of Dams - Policy And Procedures, Draft version ER 1110-2-1156, Washington, D.C., EUA, 162 páginas, Abril, 2004.
- ◆ **U.S. Bureau of Reclamation**, Department of the Interior, Part 753: Dam Safety Program, 5 páginas, Abril, 1982.



*Las Presas
y el Hombre*

Presentación de casos



PROYECTO PRESA ARCEDIANO. ABASTECIMIENTO DE AGUA A GUADALAJARA

Ing. Enrique Dau Flores

ANTECEDENTES

1542.- Se funda la ciudad de Guadalajara, en el estado de Jalisco, México, en el Valle de Atemajac utilizando las aguas del río San Juan de Dios. Conforme la población fue creciendo se fueron utilizando otras fuentes como los manantiales aledaños de los Colomos, el Colli, San Ramón y Agua Azul.

1942.- Con la tecnología para la perforación de pozos se inició el aprovechamiento de las aguas de los acuíferos de Tesistan y Atemajac.

1956.- Se inicia el aprovechamiento de las aguas del Lago de Chapala con un gasto de $1\text{m}^3/\text{s}$ utilizando parte del río Santiago y el canal de riego Atequiza, con una longitud de 90 Km y un bombeo de 80 metros.

1984.- A esta fecha se extraían $9\text{m}^3/\text{s}$ del Lago de Chapala de los cuales por pérdidas, solamente se entregaban $6\text{m}^3/\text{s}$.

1984 – 1990.- Con el objeto de eficientar la conducción y aumentar el abastecimiento, se llevó a cabo la construcción del acueducto Chapala - Guadalajara para un gasto de $7.5\text{m}^3/\text{s}$ y un bombeo de 138 metros y una longitud de 42 Km, con lo cual se dejó de extraer 94Mm^3 del lago y dotar de $1.5\text{m}^3/\text{s}$ adicionales a los $6\text{m}^3/\text{s}$ que llegaban.

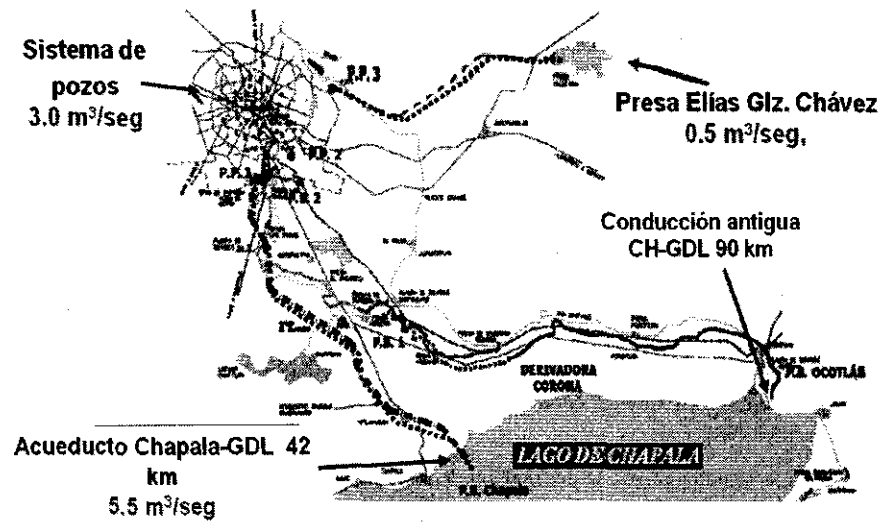
1989 – 1991.- Dada la disminución del almacenamiento en el Lago de Chapala y con el objeto de asegurar el abastecimiento de agua a Guadalajara, hasta el año 2020, se optó por aprovechar las aguas del río Verde mediante la construcción del sistema "La Zurda-Calderón-Guadalajara", para un gasto firme de $10\text{m}^3/\text{s}$.

1991.- Inicia la operación de la primera etapa de este sistema, con la construcción de la presa Calderón y su acueducto, con capacidad para suministrar hasta $1.5\text{m}^3/\text{s}$, suspendiéndose las etapas posteriores.

1995.- Mediante el decreto de reserva de aguas superficiales de la cuenca del río Verde, se redujo $3.8\text{m}^3/\text{s}$ el potencial destinado para Jalisco, con el objeto de abastecer a la ciudad de León, Guanajuato.

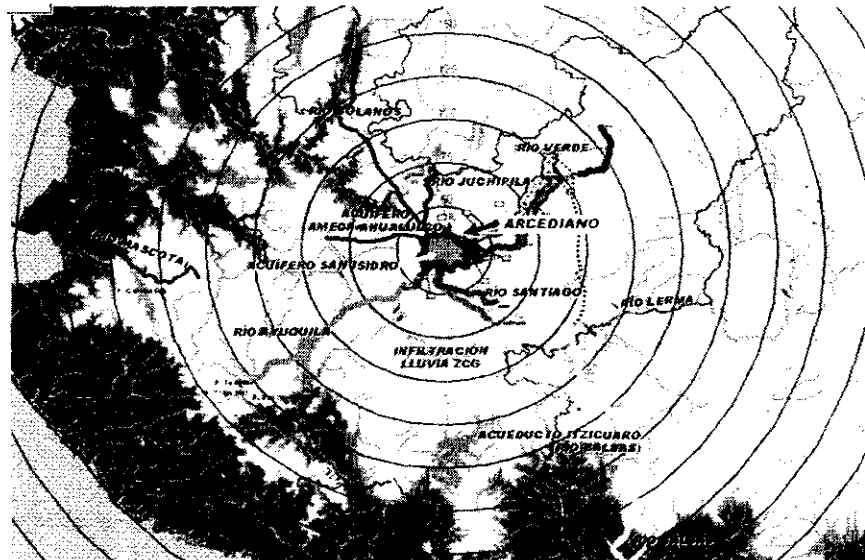
ABASTECIMIENTO ACTUAL DE AGUA A LA CIUDAD DE GUADALAJARA $9\text{M}^3/\text{S}$

Actualmente se tiene una población de 4'015,500 hab, considerando una dotación de 280 litros por hab/día se requiere $12.84\text{m}^3/\text{seg}$, por lo que existe un déficit de $3.84\text{m}^3/\text{seg}$.

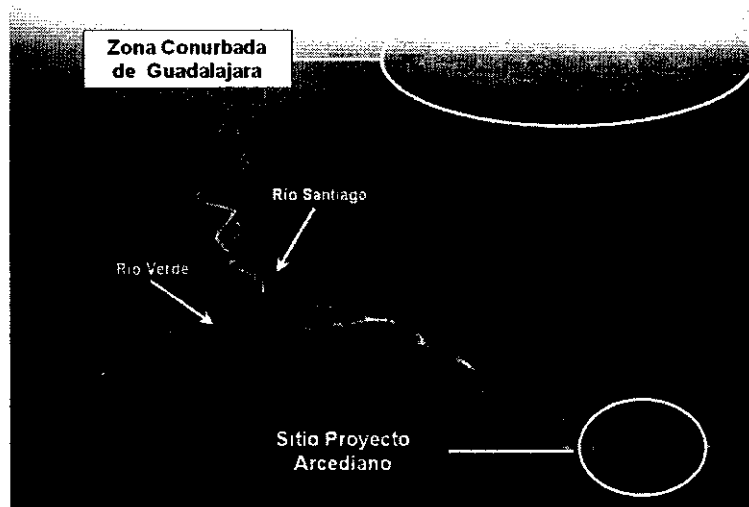


ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO

En un radio de más de 250 km., se evaluaron varias alternativas de aprovechamiento tanto de aguas superficiales como subterráneas, determinándose el aprovechamiento de los ríos Verde y Santiago en el sitio Arcediano.



LOCALIZACIÓN

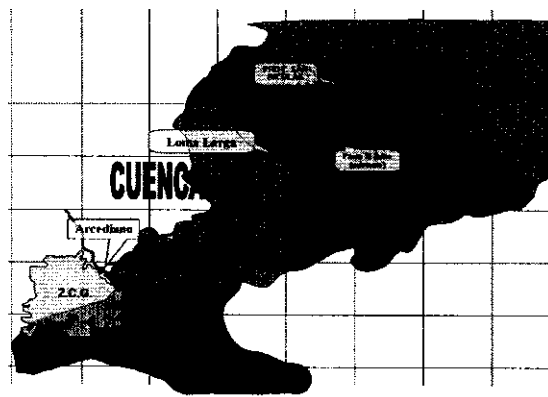


HIDROLOGÍA

Tiene mayor disponibilidad hidrológica al captar el total de la cuenca del Río Verde (6.60 m³/s), más la aportación del Río Santiago (3.8 m³/s), se obtiene el gasto requerido (10.4 m³/s) para el abasto de agua a la ZCG.

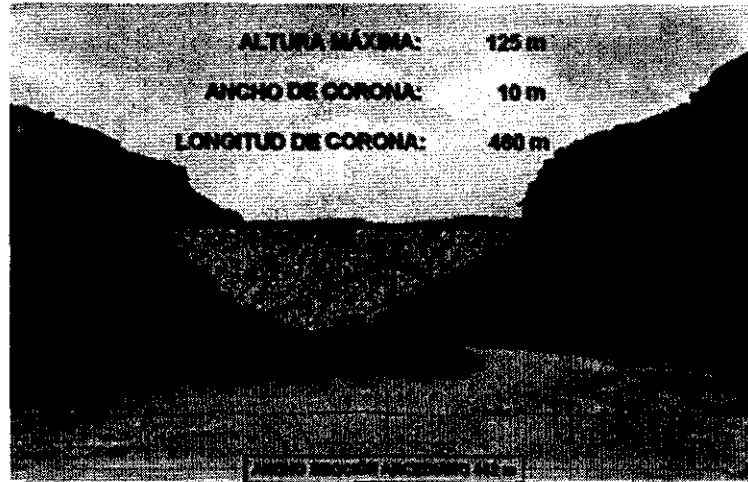
Se aprovecharán las aguas producto de lluvia de la cuenca alta del Río Santiago.

Concepto	Río Verde	Río Santiago
Superficie (Km ²)	20,650	2,700
Precipitación Media Anual (mm)	720	820
Escurrecimiento (Mm ³)	691	176



TOPOGRAFÍA

Para determinar la capacidad de almacenamiento factible en el vaso se realizó la topografía, resultando las siguientes características de la presa:



GEOLOGÍA

Se determinó que reúne las mejores condiciones de impermeabilidad y carga, por las características de las formaciones de los estratos del subsuelo.

COSTOS

COSTOS DE INVERSIÓN EN MDP

Con base en los estudios de factibilidad, hidrológicos, topográficos y técnicos-económicos en Arcediano, en Enero del 2003 se obtuvieron los siguientes resultados:

Presa	1,612
Bombeos	844
Acueductos	395
Indemnizaciones	169
Estudios y Proyectos	93
Supervisión técnica	87
Gastos m³/seg	10.4
Costo total \$ / m3	2.69

- Los costos se determinaron con precios índices de CNA y tendrán un ajuste al concluir los proyectos ejecutivos.

COSTOS POR M³ DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (2004)

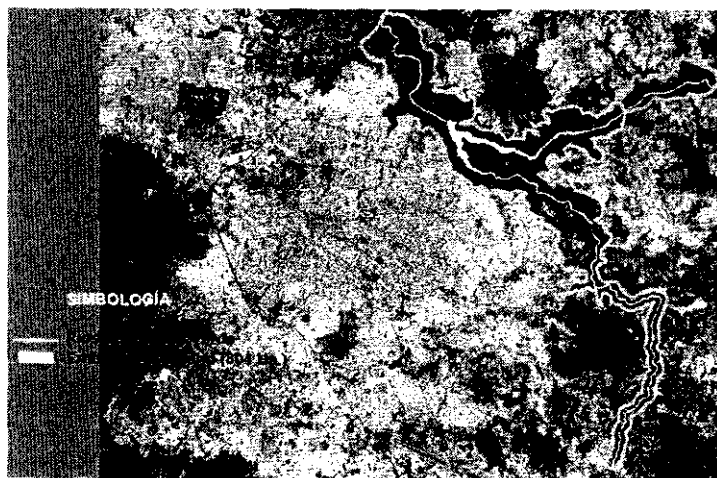
CREDITO	100%	40%	
		18 Hrs (Bombeo)	24 Hrs (Bombeo)
Amortización / m ³	1.54	0.92	0.92
Operación / m ³ incluye : Personal, mantenimiento, reposición de equipo	0.15	0.15	0.15
Menos el costo energía eléctrica ACUEDUCTO CHAPALA	0.39	0.39	0.39

MEJORAMIENTO AMBIENTAL

Se contempla un sistema integral de ordenamiento y aprovechamiento sustentable del territorio del embalse de la presa de Arcediano y de las cuencas de los ríos Santiago y Verde



ÁREA NATURAL PROTEGIDA, PARQUE ESTATAL



CONCLUSIONES

- Permite la construcción de una presa del tamaño requerido para satisfacer el déficit de agua actual y la demanda futura hasta el año 2030.
- Es el único sitio que asegura la captación integral de la cuenca del río Verde, libre o no comprometida.
- Desde el punto de vista hidráulico - estructural, el sitio está aprobado por la Comisión Nacional del Agua, a través de la GERENCIA DEL CONSULTIVO TÉCNICO. Participó durante todo el desarrollo de los estudios geológicos y geotécnicos.
- Técnica, Económica y Financieramente es la mejor alternativa para sustentar el desarrollo económico y el crecimiento poblacional.
- Contribuye a la Recuperación y Conservación del Lago de Chapala y a reducir la sobreexplotación de los acuíferos
- Ambientalmente mejora la situación de la barranca, asegurando su restauración y conservación.

PRESENTACIÓN DE CASO: PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA PAROTA

Évert V. Hernández López²

RESUMEN:

Se presentan los principales aspectos técnicos, ambientales y sociales relacionados con el desarrollo del proyecto hidroeléctrico La Parota, localizado sobre el río Papagayo, en el Estado de Guerrero, desde la selección del sitio hasta la terminación de los documentos de licitación para su construcción, suministro e instalación de equipos, pruebas y puesta en servicio de sus tres grupos turbogeneradores.

Asimismo, se hace referencia a la presa para cambio de régimen Los Ilamos, ubicada aguas abajo del desfogue de La Parota, necesaria para poder operar la central hidroeléctrica en horas de máxima demanda, sin deterioro significativo de las condiciones ambientales en el tramo del río hasta su desembocadura, y se presenta una relación de los eventos sociales significativos.

ESTUDIOS PREVIOS

El aprovechamiento de corrientes fluviales para suministrar electricidad a industrias mineras y textiles de nuestro país, iniciado a finales del siglo XIX, fue el sustento del desarrollo de la hidroelectricidad como la principal fuente generadora del sistema eléctrico mexicano hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando inició el crecimiento significativo de la generación térmica con base en combustibles fósiles. No obstante, a pesar de que hoy en día la hidroelectricidad sólo aporta el 22,6 % de la potencia instalada en México³, prevalece la necesidad de disponer de estas fuentes generadoras que proveen potencia y energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en horas de máxima demanda (horas punta), de forma oportuna y al menor costo. Las centrales hidroeléctricas son también importantes para el SEN por su capacidad para tomar los reactivos de la red de transmisión.

La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos tiene a su cargo los estudios de planeación, ingeniería de diseño y supervisión de la construcción de los aprovechamientos hidroeléctricos y desde la década de los años ochenta estudia de manera sistemática y ordenada el potencial en el país, en los sistemas hidrológicos de las principales corrientes fluviales⁴. El proyecto La Parota, sobre el río Papagayo, es uno de los más importantes por su potencia y generación, además de su ubicación estratégica respecto al centro de consumo más importante del país.

² Ingeniero civil, Subgerente de Anteproyectos de la Gerencia Técnica de Proyectos Hidroeléctricos. Comisión Federal de Electricidad

³ La potencia total instalada en el año 2004 fue de 45 694 MW.

⁴ Actualmente, ha identificado del orden de 510 proyectos que en conjunto representan 42 000 MW de potencia.

SELECCIÓN DEL SITIO.

Sobre el río Papagayo, en el año de 1964 la CFE inició la operación de la central hidroeléctrica Gral. Ambrosio Figueroa (presa La Venta), con 30 MW de potencia instalada, la cual continúa funcionando a la fecha a pesar de haberse azolvado totalmente en el año de 1967, cuando ocurrió una avenida extraordinaria que sobrepasó su cortina. Unos años después, la Secretaría de Recursos Hidráulicos identificó que el estrechamiento donde se instaló la estación hidrométrica La Parota era propicio para construir una presa de almacenamiento que asegurara el abastecimiento de agua en bloque al municipio de Acapulco, y en el año de 1976 CFE empezó a estudiar el mismo sitio con la finalidad de desarrollar un proyecto hidroeléctrico, considerando el gasto medio del río, las características topográficas y geológicas de la boquilla, y la posibilidad de formar un embalse con capacidad suficiente para regular anualmente el escurrimiento del río. El sitio en referencia se localiza a 26 kilómetros del puerto de Acapulco y a una distancia semejante de la desembocadura del Papagayo al mar.

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA MÁXIMA DE LA CORTINA Y LA POTENCIA POR INSTALAR.

Para definir el nivel de aguas máximo ordinario (NAMO) de la presa se analizaron varias opciones de altura de cortina, asociadas también a diferentes potencias por instalar, desde aquellas que no producen la inundación de la presa La Venta hasta las que implican su inundación y desmantelamiento. Considerando los beneficios económicos diferenciales que ofrece la formación de un embalse con gran capacidad útil y el incremento de la potencia instalable conforme crece la cortina, se definió la elevación 180,0 msnm (altura de la cortina de 162 metros) como nivel de la corona. Para esta elevación, sería necesaria la construcción de seis diques, con alturas variables entre 12 y 28 metros, para cerrar el mismo número de puertos topográficos situados al Oeste de la boquilla. La potencia instalable definida en factibilidad fue de 750 MW y el factor de planta, de 0,20.

ESTUDIOS BÁSICOS REALIZADOS.

Para desarrollar los esquemas generales de las obras del estudio de factibilidad se dispuso de planos restituidos con métodos fotogramétricos en escala 1:2 000.

Se llevaron a cabo varias campañas de estudios geológicos en el sitio de obras levantando a detalle las estructuras geológicas y delimitando las formaciones litológicas, los depósitos de talud y los suelos producto de alteración. Se perforaron barrenos distribuidos en el área de obras, se excavaron socavones en las márgenes, trincheras y cortes en balcón, y se complementaron los trabajos de investigación con métodos indirectos (resistividad eléctrica y refracción sísmica), para integrar el modelo geológico. También, se adquirieron e interpretaron fotografías aéreas y se hicieron varios reconocimientos del área del vaso para formar el plano geológico regional.

La roca en el sitio de La Parota es de origen metamórfico: gneiss de biotita y gneiss cuarzo-feldespático. La discontinuidad geológica más significativa corresponde a la foliación de la roca, la cual buza hacia aguas arriba entre 50° y 60°. La falla más importante reconocida en las campañas de estudios se encuentra en la margen izquierda y es sensiblemente paralela al cauce del río. Esta falla se cruzó en uno de los sondeos perforados y se verificó en una trinchera. Su presencia limitó la altura de la cortina.

Considerando los valores del índice de calidad de roca, RQD, superiores al 80% y la baja permeabilidad del macizo <SUL, se concluyó que el sitio es técnicamente factible; no obstante, para desarrollar la ingeniería de diseño se recomendó precisar el conocimiento en sitios específicos, determinar el espectro de diseño sísmico y verificar la competencia de los fragmentos de la roca metamórfica, producto de las excavaciones, para formar el cuerpo de la cortina.

Una de las actividades importantes en el estudio de factibilidad correspondió a orientar la caverna donde se alojará la casa de máquinas, considerando el estado de esfuerzos producido por el fenómeno de subducción de la placa de Cocos bajo la placa de Norteamérica, y la inclinación de los planos de foliación del macizo rocoso.

Otros trabajos realizados en esas campañas de estudios consistieron en el estudio de los bancos de arcilla, grava-arena y roca. En ese tiempo se había propuesto un esquema general de obras con base en una cortina de enrocamiento con núcleo de arcilla, aunque para mediados de la década de los años noventa se consideró la posibilidad de una cortina de enrocamiento con cara de concreto, similar a la construida en el sitio de Aguamilpa, considerando la disminución significativa del volumen de materiales por colocar, la reducción de un año del período constructivo y la menor afectación a los suelos arcillosos, que en la región son utilizados por las comunidades como superficies de siembra.

DIAGNÓSTICO SOCIO AMBIENTAL.

La CFE realizó el estudio diagnóstico de los medios social y ambiental en los años de 1983-1984 y los actualizó en 1993-1994. Se determinó que el área del futuro embalse estaba sumamente alterada por la acción humana y se concluyó que aplicando las medidas adecuadas de prevención, mitigación y compensación el proyecto sería factible.

El factor social, empero, era el más preocupante: la formación del embalse implicaría la afectación directa de 2 704 habitantes⁵ asentados en 14 poblados; en otro aspecto, el embalse afectaría dos puentes carreteros, sobre los ríos Omitlán y Papagayo, 16,6 km de carretera pavimentada, 22,8 km de terracerías y 31,5 km de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica y la central hidroeléctrica La Venta.

ARREGLO GENERAL DE OBRAS EN EL NIVEL DE FACTIBILIDAD.

Se elaboraron diferentes anteproyectos con base en cortinas de los siguientes tipos:

- Enrocamiento con núcleo central de arcilla (ENA), taludes 2,0:1 y volumen de 18,5 millones de m³; tiempo de construcción 6 años.
- Enrocamiento con cara de concreto (ECC), taludes 1,5:1 y volumen de 13,5 millones de m³; tiempo de construcción 5 años.

⁵ Información actualizada bibliográficamente al año de 1994.

- Concreto de sección gravedad (CG), con taludes 0,1:1 y 0,85:1 y volumen de 4,1 millones de m³; tiempo de construcción 4 años.

Se realizaron los análisis comparativos considerando la disponibilidad de materiales⁶, los costos y tiempos asociados de construcción. El costo del kWh de las soluciones ENA y CG, respecto al tipo ECC, fueron mayores 1,15 veces la primera y 1,5 veces la segunda. En consecuencia, se eligió la cortina tipo enrocamiento con cara de concreto.

El esquema general de obras consideró el desvío del río mediante dos túneles de sección portal, excavados en la margen derecha, de 16 m de alto. Las ataguías, dos estructuras térreas de 52,5 m de altura, la de aguas arriba, y 18 m, la de aguas abajo. Se identificó de particular importancia definir el procedimiento constructivo de la ataguía más alta, en virtud de la hidrología del río, el volumen de materiales por colocar (alrededor de 1 millón de m³), las dimensiones de los túneles y el tiempo disponible.

El vertedor se ubicó en la margen derecha, estando constituido por un canal de llamada y dos túneles de sección portal, de 14 m de alto. La estructura de control se consideró formada por tres compuertas radiales por túnel.

La obra para generación, dispuesta también en la margen derecha, estaba formada por una toma frontal, tres túneles de presión de 7,25 m de diámetro, casa de máquinas en caverna de 22 x 110 x 45 metros y galería de oscilaciones ubicada aguas abajo. Las turbinas Francis operarían con caída neta de 130,3 m y gasto de diseño de 213,21 m³/s. El desfogue se previó mediante un túnel de sección portal de 16 m de altura.

INGENIERÍA BÁSICA

ESTUDIO HIDROLÓGICO

Su objetivo fue determinar el escurrimiento medio anual aprovechable para la generación de energía eléctrica, las avenidas máximas de diseño para las obras de desvío y excedencias, y el aporte de sedimentos.

Con la finalidad de determinar los escurrimientos en el sitio se utilizó la información disponible de las estaciones hidrométricas El Puente (1958-2002) y El Salitre (1951-1962), sobre el río Omitlán, y Agua Salada (1969-2002), Papagayo (1956-1963) y La Parota (1963-2003), sobre el río Papagayo. A partir de la información disponible, se realizó el análisis estadístico que permitió definir el volumen medio anual, para el período 1951-2003, de 4 387 millones de m³ (gasto medio de 139,1 m³/s). El volumen concesionado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) fue de 4 039,4 millones de m³.

La CFE realizó el estudio de avenidas máximas y solicitó su revisión al Instituto de Ingeniería de la UNAM, para presentarlo a consideración de la autoridad, la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), de la CNA. Se dio particular importancia al registro de 11 653 m³/s, ocurrido el 26 de septiembre de 1967 en la estación hidrométrica La Parota,

⁶ La arcilla es escasa en la región, abunda el material de grava-arena y se dispone de bancos de roca.

debido a condiciones climatológicas locales y regionales que originaron precipitaciones extraordinarias en gran parte del país. Las principales conclusiones fueron:

- a) Diseñar la obra de excedencias y revisar los niveles en el embalse con base en el hidrograma definido por la GASIR, para Tr de 10 000 años, el cual considera una avenida con gasto máximo de 22 993 m³/s y volumen de 8 912 millones de m³.
- b) Para establecer la política de operación de la obra de excedencias, emplear el hidrograma de CFE para el cual el gasto máximo es 24 733 m³/s y su volumen de 7 961 millones de m³.
- c) Diseñar la obra de desvío utilizando el hidrograma correspondiente a la avenida máxima histórica registrada en el año de 1967, de 11 653 m³/s.

Con relación al aporte de sedimentos, se estimó que el volumen que podría depositarse en el embalse durante los 50 años de vida útil es de 970 millones de m³, alcanzando la elevación 76,23 msnm. Se estimó que la elevación del umbral de la obra de toma (117,0 msnm) será alcanzada por el azolve después de 120 años.

Finalmente, se determinó que la temperatura media anual en el sitio es de 27°C, con mínima promedio de 18°C y máxima de 36°C. La precipitación y la evaporación media anual son 1 085 y 1 727 mm, respectivamente.

ESTUDIO HIDROENERGÉTICO.

Con la finalidad de poder ofrecer al Sistema Eléctrico Nacional mayor potencia y energía en las horas de máxima demanda y obtener mejor rentabilidad para el proyecto, se decidió revisar la potencia instalable definida en factibilidad. Si bien el escurrimiento histórico del río, la capacidad del vaso y la carga de diseño son los factores significativos para determinar la energía producible, se estudiaron potencias mayores, asociadas a factores de planta menores a 0,20, para definir la solución más atractiva en términos económicos. Así, habiendo fijado la ubicación más alta de la corona de la cortina (elevación 181,75 msnm), fundamentalmente motivada por la geología local y las afectaciones a superficies y poblados en el vaso, y analizando los beneficios incrementales por modificar los niveles de aguas máximo y mínimo de operación, se estableció la potencia de 900 MW con niveles de 175 y 170 msnm al NAMO (estiaje y avenidas, respectivamente), y 143 msnm al NAMINO, obteniéndose así la generación total de 1 372 GWh anuales, de los cuales 1 195 son firmes (garantizados al 95% de probabilidad) y 177 secundarios. El factor de planta resultante fue de 0,17.

ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Se realizaron trabajos topográficos de seccionamiento transversal del río a lo largo del desarrollo de sus corrientes principales en el vaso, hasta su desembocadura. Asimismo, los fotogramétricos de alta resolución del área de influencia del proyecto, para precisar: a) con la CNA, la delimitación de la zona federal, tanto actual como futura; b) con las comunidades propietarias de los terrenos, los límites del vaso y el alcance de los derechos por pagar; c) los levantamientos correspondientes al trazo de los caminos definitivos de acceso; y d) los levantamientos de las superficies donde se definirán las ubicaciones de los nuevos poblados de reacomodos.

También se efectuó el levantamiento fotogramétrico de las zonas identificadas con riesgo de inundación ante diferentes condiciones de operación del vertedor de la presa.

ESTUDIO GEOLÓGICO

Para el diseño básico se programó levantar la geología de semidetalle en 13 000 ha del embalse y 66,5 ha de geología de detalle (12,5 se realizarían en la zona de obras, 20 en la zona de diques, 25 en las zonas de reacomodos y 9 ha en bancos de materiales). Además, se consideró perforar 39 barrenos con recuperación de núcleos: 9 en la zona del pinto, 3 en ataguías, 6 en el vertedor, 6 en casa de máquinas y 2 en los túneles de desvío, además de 13 barrenos en la zona de diques (en total, 3 185 m de barrenación). Se programó excavar dos socavones, o profundizar los actuales, con el fin de observar las condiciones de la roca a profundidad: en la margen izquierda, hasta cruzar la falla N° 2 y en la margen derecha para conocer las condiciones en la zona de la caverna. Dentro de las actividades de geofísica, se programó realizar 306 tendidos de refracción sísmica y 328 sondeos eléctricos verticales, los cuales tendrían el objetivo de contribuir al conocimiento de las condiciones físicas del macizo rocoso. La mayor parte de estos estudios no fue posible realizarlos, en virtud de los problemas de acceso al sitio acaecidos en el mes de julio de 2003

ESTUDIO SISMOTECTÓNICO

Los estudios sismotectónicos tuvieron como objetivos determinar la actividad sísmica en el sitio y su relación con los procesos tectónicos de la región, evaluar el riesgo sísmico y obtener los espectros de diseño. A la fecha, pudo realizarse la descripción del marco tectónico regional, el análisis de la sismicidad histórica y del potencial sísmico, así como el análisis de la actividad sísmica registrada instrumentalmente en torno al proyecto, y su relación con los rasgos tectónico-estructurales que pudieran representar algún riesgo. Actualmente, se continúa con la observación de la actividad sísmica por medio de los sismógrafos y los acelerógrafos de la Red Parota, información que se compila, procesa y analiza. Como parte de estos estudios se iniciaron trabajos concernientes a la instalación de la red telemétrica Parota, la cual estará formada por cinco o seis acelerógrafos que se prevé se comuniquen con una estación maestra localizada en la ciudad de Acapulco. Ello permitirá recuperar eventos sísmicos casi en tiempo real desde la ciudad de México y poder analizar de manera oportuna cualquier evento y su riesgo asociado.

TERRAPLÉN DE PRUEBA⁷

El terraplén de prueba⁸ se construyó y ensayó de mayo a julio de 2003, utilizando un rodillo liso vibratorio de 12,3 t de peso estático y ensayando espesores de capa de 60, 80, 100 y 140 cm del material identificado como 3B, el cual se explotaría de los playones del río y representa del orden de 7 millones de m³. Los resultados mostraron pesos volumétricos secos (PVS) del orden de 2 200 kg/m³, compacidad relativa del 65% y relaciones de vacíos de 0,19. En estas condiciones, el módulo de deformabilidad del material ensayado resultó de 2 500 kg/cm² y la permeabilidad, de

⁷ Referencia 1.

⁸ Las dimensiones de su base fueron 56x64 m y su altura prevista de 12 metros. Solamente pudo levantarse hasta 3,9 m, en virtud del bloqueo que impidió el acceso del personal de CFE al sitio.

10^{-2} cm/s. Los resultados de campo coinciden con los obtenidos en laboratorio con especímenes gigantes, en los cuales se obtuvieron valores semejantes del PVS y la relación de vacíos, en tanto que el módulo de deformabilidad varió entre 1 200 y 3 400 kg/cm² y el ángulo de fricción interna de 44° a 56°, en función del esfuerzo de confinamiento.

DISEÑO SÍSMICO DE LA CORTINA TIPO ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO⁹

La CFE encargó al Instituto de Ingeniería de la UNAM el análisis sísmico de la cortina tipo enrocamiento con cara de concreto, para las opciones con taludes simétricos exteriores de 1,4:1, 1,5:1 y 1,6:1. El análisis fue realizado en un modelo tridimensional de diferencias finitas, aplicado a una malla formada por 8 347 elementos sólidos, 220 elementos cascarón y 9 278 nodos. En el análisis, se simularon tres tipos de elementos interfaz: losa-enrocamiento, losa-losa (juntas frías) y losa-cimentación (plinto).

El ambiente sísmico definido para el sitio representa la envolvente de los sismos probables con magnitudes hasta 8,2 grados Richter, el cual produciría una aceleración máxima de 0,8 g. El análisis dinámico de la cortina consideró los acelerogramas representativos en las direcciones X, Y y Z, procesados para representar iguales duraciones, para los cuales se determinaron los espectros de diseño respectivos. Se asumió que la cortina estaría sujeta al efecto simultáneo de las tres componentes, condición más severa que la recomendada por la ICOLD¹⁰.

La CFE proporcionó la información de las propiedades mecánicas de los materiales obtenidas mediante ensayos de campo y laboratorio, y las propiedades dinámicas se estimaron con base en resultados de investigaciones realizadas en otras presas de México (El Infiernillo, La Villita y Aguamilpa). El análisis simuló las condiciones "finales de construcción" y "primer llenado". En el estudio se determinaron, también, los asentamientos máximos a largo plazo.

Los resultados del estado de esfuerzos y deformaciones obtenidos de la simulación matemática arrojaron valores de desplazamientos verticales máximos de 39 y 40 cm, para finales de construcción y primer llenado, respectivamente. El mínimo factor de seguridad contra deslizamiento fue de 1,8 para la condición de primer llenado. Asimismo, se obtuvo la distribución de deformaciones horizontales y verticales en la cara de concreto, aspecto que permitirá diseñar adecuadamente las características de los sellos entre las losas y se concluyó que los esfuerzos inducidos en la cara de concreto no exceden sus resistencias a la tensión y compresión.

ESQUEMA GENERAL DEL PROYECTO.

En la Figura N° 1 se muestra el arreglo general de las obras del proyecto, con base en la cortina ECC, y se presenta la información relevante.

OBRA DE DESVÍO

La obra de desvío se localiza en la margen derecha. CFE la diseñó hasta el nivel de detalle, en virtud de su relevancia para cumplir con el programa general de construcción. Considerando los

⁹ Referencia 2.

¹⁰ International Commission on Large Dams.

gastos máximos mensuales en el sitio y los volúmenes de materiales por colocar en la ataguía de aguas arriba, se decidió efectuar un predesvío con su preataguía levantada a la elevación 35,85 msnm, para poder desviar el río de diciembre a junio por medio del túnel 1, de 10 metros de alto. En esos 7 meses se deberá excavar el cauce, tratar la roca de cimentación, desplantar la losa de plinto, levantar la cortina hasta la elevación 87,0 (formándose así la ataguía) y terminar la construcción de los túneles 2 y 3, de 15 metros de altura (revestidos con concreto hidráulico en la plantilla y concreto lanzado en muros y bóveda), para poder transitar por los tres túneles las avenidas del siguiente período de lluvias. Así, la obra podrá manejar un gasto de entrada de 12 986 m³/s, correspondiente a un Tr de 159 años. El túnel 1 se diseñó para el Tr de estiaje de 50 años, con gasto de 538 m³/s.

La longitud de los túneles 1, 2 y 3 es de 571, 594 y 618 m, respectivamente. En el túnel 3 quedará alojada la toma ecológica, aprovechando el tapón de cierre definitivo como atraque de la tubería de esta estructura, requerida para suministrar un flujo continuo de 30 m³/s al cauce del río durante el llenado del vaso.

OBRA DE EXCEDENCIAS

Se localiza en la margen derecha y tiene la particularidad de que comparte el canal de acceso con la obra de generación (aunque en niveles diferentes). Consta de un canal curvo en su porción media, cuyo ancho y longitud son de 105,4 y 638,0 m, respectivamente, y su plantilla se sitúa en la cota 153,6 msnm. La estructura de control es un cimacio tipo Creager, de 4,4 m altura, con su cresta a la elevación 158,0 msnm, formado por seis vanos de 14,4 m separados por pilas de 3,80 m de espesor. El control de la estructura lo proporcionan seis compuertas radiales de 14,40 x 22,39 m, accionadas por servomotores. El canal de descarga lo forman dos canales de 50,80 m de ancho cada uno, separados por un muro intermedio donde se aloja la galería de drenaje. La estructura terminal es una cubeta deflectora con ángulo de salida de 15 grados. Se ha considerado la excavación de un tanque para reducir los efectos de barras en el cauce.

La obra de excedencias está diseñada para una avenida máxima de 22 993 m³/s. La descarga máxima es de 18 155 m³/s y la velocidad máxima, de 30,0 m/s.

ESTUDIOS DE MODELO HIDRÁULICO

Para verificar el funcionamiento hidráulico de la obra de excedencias y la obra de toma, así como la erosión del cauce a la descarga del vertedor, se construyó un modelo a escala geométrica $Le = 80$.

Se observó la operación del vertedor con descargas controladas de 2 000 y 5 000 m³/s, así como con descargas libres de 16 000, 17 000 y 18 155 m³/s, sin operar la obra de generación. Para descargas controladas se apreció que el funcionamiento hidráulico es aceptable y con descargas libres se observó una contracción del flujo en el acceso al canal de llamada. Con base en lo anterior, se modificó la geometría del acceso.

Durante el funcionamiento de la descarga del vertedor se observó que el flujo impactaba en la plantilla del canal de descarga, por lo que se recomendó adicionar una cubeta deflectora de 15°. También se apreció que al operar el vertedor se sobreleva el nivel del agua en la descarga del desfogue de la obra de generación.

Finalmente, de los estudios realizados en el modelo con y sin foso de disipación de energía, se concluyó la necesidad de construirlo para evitar la formación de una barra en el cauce, la cual podría obstruir el desfogue de la obra de generación.

OBRA DE GENERACIÓN

Obra de toma. Consta de tres tomas del tipo frontal diseñadas para un gasto total de 748,50 m³/s (249,50 m³/s, por toma), tuberías de acero de 7,0 m de diámetro y 180,76 m de longitud cada una.

Casa de máquinas. Será del tipo subterránea, equipada con turbinas Francis de eje vertical, para la carga neta de diseño de 131,53 m; el factor de planta determinado fue de 0,173. Actualmente se han definido las dimensiones de 22,2 x 122,0 x 45 m.

Galería de oscilaciones. Debido a la longitud entre la descarga de las turbinas y el río, será necesaria la construcción de una galería subterránea de 16,0 x 85,0 x 57,5 m, con la finalidad de garantizar la operación adecuada de los grupos turbogeneradores.

Desfogue. El agua turbinada se reintegrará nuevamente al río por medio del túnel de desfogue, diseñado para operar como canal, de sección arco rebajado de 16,0 x 20,3 m, longitud de 289,6 m y canal de descarga de sección trapezoidal con ancho variable de 19,0 a 60,0 m y longitud de 56,0 m.

PRESA DE CAMBIO DE RÉGIMEN LOS ILAMOS

La necesidad de conservar las condiciones hidrodinámicas aguas abajo del aprovechamiento hidroeléctrico, para garantizar la supervivencia de la fauna acuática y el aprovechamiento del recurso agua por distintos usuarios, minimizando el impacto originado con el régimen que impondrá producir diariamente la energía en horas punta, hizo imperativo considerar una estructura que modificara ese nuevo régimen por otro más "amigable" con el ambiente, que mantuviera un gasto permanente en el río y minimizara los efectos por la descarga de gastos altos de la presa La Parota.

Se propuso como solución una represa de la menor altura posible que regulara la mayor parte de los casi 11 millones de m³ provenientes de la operación diaria de la central hidroeléctrica y que se ubicara lo más cerca posible de La Parota, para dar protección a la mayor longitud del cauce. La presa, denominada Los Ilamos, se ubicó entre los poblados Cacahuatpec y La Concepción, y tiene capacidad útil de 5,8 millones de m³ y altura (sobre el lecho natural del cauce) del orden de 11 metros (a la elevación 27,41 msnm, correspondiente a su NAMO); empero, la altura máxima de la estructura será de 26,41 metros, en virtud de la profundidad de los aluviones en el sitio (17,0 m, aproximadamente). Se ha previsto que la presa sea de concreto compactado con rodillos.

Como extracción típica de la obra se ha considerado descargar gastos permanentes diarios de 80,5 m³/s como mínimo y 400,0 m³/s como máximo, durante las 4 horas de operación de la central hidroeléctrica. Y con la finalidad de aprovechar este gasto permanente, se propuso extraerlo a través de una pequeña obra generadora, configurada por dos turbinas tipo "S" que desarrollarán una potencia total de 5,2 MW y producirán 33,5 GWh anuales.

Además, en esta presa se ha previsto construir dos obras de toma: la primera para asegurar el abastecimiento permanente de agua a las obras de captación y conducción del sistema municipal, y para la posible irrigación de algunas superficies de tierras.

EXTERNALIDADES POSITIVAS

La Secretaría de Hacienda, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Normas Presupuestarias para la Administración Pública Federal, evalúa y dictamina la

factibilidad de los proyectos de inversión productiva con base en análisis de costo beneficio y en sus flujos mensuales. Para el proyecto La Parota, los conceptos de costo involucraron la construcción del proyecto hidroeléctrico y la línea de transmisión, las indemnizaciones, costos de residencia y supervisión, y los financieros durante la construcción. Considerando que el proyecto formará parte del esquema PIDIREGAS¹¹, la autoridad verifica que se generen los beneficios netos en el horizonte de evaluación que aseguren el repago de las obligaciones contraídas a largo plazo (capital e intereses).

Para los análisis de costo beneficio, la autoridad hacendaria permite acreditarle al proyecto otros beneficios cuantificables. En el caso de La Parota se determinaron los correspondientes a la dotación de agua en bloque al municipio de Acapulco, la generación de empleos por nuevos desarrollos turísticos en las riberas del vaso y la irrigación de tierras. Los beneficios acreditables a estas externalidades positivas fueron significativos para aprobar el análisis económico.

ALGUNAS CONSIDERACIONES DEL CONTRATO MIXTO DE OBRA PÚBLICA FINANCIADA (OPF)

El proceso de licitación y adjudicación del proyecto se sujetará a un Contrato Mixto de Obra Pública Financiada (OPF), con apego en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas. El contrato OPF comprende la ingeniería de detalle y construcción; el suministro de equipos y materiales, las partes de repuesto y herramientas especiales; los montajes, pruebas y puesta en servicio; los fletes, seguros y aranceles; y la capacitación del personal. El contrato establece una parte a precio alzado y otra a precios unitarios. La primera, corresponde a una cantidad fija no sujeta al ajuste de costos, salvo que se presenten circunstancias económicas ajenas a las partes (por ejemplo, variaciones del precio del acero) y la parte a precios unitarios, al pago por unidad de concepto de trabajo terminado, sujeto al ajuste de costos. La CFE tomará los riesgos hidrológicos (por ejemplo, llegada anticipada o falta de lluvias) y los geológicos (variaciones de las condiciones geomecánicas respecto al estudio proporcionado en las bases).

El Contratista es responsable del financiamiento durante el período de construcción y la CFE certifica mensual o quincenalmente el avance de las obras, lo que permite al Contratista la revolvencia de los desembolsos de su financiamiento. En caso de rescisión del contrato por incumplimiento de la CFE, o por fuerza mayor, se le obliga a pagar las obras ejecutadas y los gastos no recuperables; tratándose de rescisión por incumplimiento del Contratista, CFE sólo pagaría las obras ejecutadas. En el supuesto de una terminación anticipada, se cubre al Contratista el Valor de Terminación¹², con base en los reconocimientos de los avances de obra. En caso de controversia, sólo se afectaría la parte controvertida, pudiéndose someter las partes a peritaje o arbitraje.

MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL Y ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO

La Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) fue elaborada por el Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), de la UNAM, de febrero de 2003 a junio de 2004; el 5 de julio se

¹¹ Proyectos de inversión diferida en el registro del gasto. Implica un registro contable, presupuestal y de deuda pública distinto a los proyectos de inversión con recursos presupuestales.

¹² La fórmula para determinarlo se establece en el Contrato.

ingresó a la Dirección de Impacto y Riesgo Ambiental de la SEMARNAT, para su análisis y evaluación. En el mes de agosto del mismo año la autoridad ambiental llevó a cabo la Reunión de Consulta Pública de Información, en la ciudad de Acapulco, a la cual asistieron 717 personas y se presentaron 59 ponencias, a favor y en contra del proyecto. El 13 de diciembre de 2004, la SEMARNAT emitió la resolución favorable en materia de impacto ambiental, bajo 11 condicionantes y 4 recomendaciones.

El estudio de impacto ambiental determinó la predominancia de selva baja caducifolia con diversos grados de perturbación y fragmentación, debido a actividades antropogénicas practicadas sin planeación, las que han provocado la pérdida de suelo, vegetación y fauna, predominando la vegetación secundaria o acahual, cultivos y pastizales. Las áreas conservadas se encontraron principalmente en los cerros de Las Piñas y el Alto Tepehuaje (localizadas fuera del área del futuro embalse), en donde se procurará impulsar la creación de una área natural protegida. Respecto a la fauna del sitio, sólo se encontró una especie endémica.

El Estudio Técnico Justificativo consiste en el análisis cualitativo y cuantitativo de la vegetación forestal en el área afectable por el proyecto, de acuerdo con el Artículo 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Este estudio lo requiere la autoridad para autorizar el Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales. Se estima que CFE deberá pagar al Fondo Forestal Mexicano una cantidad cercana a los \$200 millones por concepto de reforestación y rehabilitación de las superficies afectadas.

PLAN DE DESARROLLO INTEGRAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO

Previamente a la realización del Plan se llevó a cabo el censo socioeconómico en el área de influencia del proyecto. Los resultados indicaron condiciones de pobreza extrema¹³, emigración de los habitantes en edad laboral, altos niveles de analfabetismo, cobertura insuficiente de servicios y baja productividad en su principal actividad económica, concentrada ésta en el sector agropecuario. Todo lo anterior dentro de un contexto de grave deterioro del medio ambiente y el crecimiento de actividades delictivas.

La construcción de la hidroeléctrica y su embalse afectarán las tierras de 19 núcleos agrarios y una propiedad privada, que en conjunto representan 14 213 hectáreas. Se deberán relocalizar 2 940 habitantes y 637 viviendas, asentadas dentro del futuro embalse en 10 poblados con afectación total, 5 con afectación parcial y 2 caseríos aislados. Además, se identificaron las afectaciones a localidades del área aledaña y del área cortina abajo.

El Plan de Desarrollo Integral considera los siguientes ejes: a) desarrollo económico, b) asentamientos humanos, c) recuperación y conservación del medio ambiente, y d) desarrollo comunitario. Para efectos del estudio, el área de influencia se dividió en: área de embalse (localidades que serán reubicadas total o parcialmente), área aledaña (localidades con sólo afectación a tierras) y área cortina abajo (localidades cuya actividad económica se relaciona directamente con el río Papagayo, pero que no sufrirán afectaciones ni en sus viviendas, ni en sus tierras).

La localización de los nuevos poblados, su equipamiento urbano y el diseño de las casas se definirán por medio de un proceso participativo con la población. La construcción de los

¹³ 17 comunidades muestran alta y muy alta marginación, y sólo una presentó marginalidad media.

nuevos poblados implica definir con cada una de las comunidades los sitios de reubicación y obtener su aceptación para el equipamiento urbano y el diseño de las casas. Se prevé la construcción de casas muestra para facilitar la comprensión del concepto de las viviendas.

En las reuniones informativas con las comunidades se formaliza la aceptación del proyecto, la anuencia para iniciar el proceso expropiatorio y la autorización para tramitar el Cambio de Uso de Suelo de Terrenos Forestales. Después de estas reuniones, las autoridades de los núcleos ejidal y comunal convocan a una Asamblea General para formalizar las anuencias. Participan la Procuraduría Agraria y un fedatario público, con objeto de garantizar la legalidad y dar confianza del proceso a la población. A la fecha, se han llevado a cabo 10 Asambleas Generales, en 7 ejidos y 3 comunidades, las cuales otorgaron su autorización para iniciar el proceso expropiatorio y solicitar el cambio de uso de suelo ante la SEMARNAT.

OPOSICIONES DE GRUPOS SOCIALES AL PROYECTO

En los tiempos actuales es cada vez mayor la oposición de diferentes grupos sociales a la construcción de presas, ya sea porque históricamente éstas no han producido los beneficios prometidos a la sociedad y han ocasionado impactos irreversibles al entorno, o porque en los países desarrollados la cultura de preservación del ambiente ha penetrado en las conciencias ciudadanas, o porque en nuestros países es parte de la respuesta hacia las acciones de los gobiernos que no han podido erradicar la pobreza.

Cuando CFE decidió incluir al proyecto La Parota en su Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico identificó que sus beneficios deberían ir más allá de la sola producción de energía eléctrica y así mejorar la percepción pública hacia su desempeño relacionado con la construcción de este tipo de mega proyectos. En consecuencia, estableció como políticas identificar los mayores beneficios permanentes para las comunidades, respetar sin restricción los derechos de los habitantes del área de influencia del proyecto, escuchar todas las opiniones en contra y tratar de incluir a los principales actores sociales en el desarrollo del proyecto.

En octubre de 2001, CFE presentó las principales características del proyecto hidroeléctrico a funcionarios del gobierno estatal, miembros de la legislatura local y asociaciones civiles, en las ciudades de Chilpancingo y Acapulco. Posteriormente, en mayo de 2002 comunicó a autoridades y pobladores de los Anexos de los Bienes Comunales de Cacahuatpec (BCC) la intención de construir el proyecto y obtuvo su consentimiento para iniciar los estudios.

En marzo de 2003 inició algunos trabajos de campo (rehabilitación de caminos y campamento) en terrenos de los BCC, empleando a unas 300 personas de la región; el 29 de junio la Asamblea General de Comuneros le autorizó realizar los estudios de campo programados. Empero, el 28 de julio un grupo pequeño de los BCC instaló un retén en el paraje El Fraile e impidió el acceso al sitio a personal y maquinaria de la CFE. A pesar de contar con apoyo de la comunidad, CFE evitó confrontarse y procuró establecer el diálogo con el grupo opositor. El 8 de agosto, el C. Gobernador Constitucional del Estado de Guerrero integró la Comisión Interinstitucional del PH La Parota, con autoridades estatales y municipales, y se buscó dialogar con los opositores, sin éxito. El 27 de agosto el H. Congreso del Estado de Guerrero formó la Comisión Especial para el PH La Parota.

En marzo de 2004, CFE inició la elaboración del Plan de Desarrollo Integral y el 25 de abril la Asamblea General de los BCC confirmó el permiso para continuar los trabajos de campo. El 20 de junio, el "Grupo de comunidades inconformes con el proyecto La Parota" acordó con CFE

el permiso de acceso para realizar los estudios sociales y le solicitó realizar obras de beneficio en diferentes poblados. No obstante este acuerdo, el 22 de junio un nuevo grupo se pronunció en contra del proyecto en el poblado de Aguas Calientes y retuvo por unas horas a un ingeniero de la CFE y por varios días vehículos de la Entidad. El 24 de agosto la SEMARNAT llevó a cabo la Reunión de Consulta Pública de Información, en la cual libremente las personas y organizaciones expusieron sus opiniones y expectativas. CFE dio respuesta a las ponencias presentadas y a todos los cuestionamientos y reclamos.

El 13 de diciembre la SEMARNAT emitió el resolutivo favorable del impacto ambiental. El 16 de marzo tres habitantes de las comunidades de Dos Arroyos y Aguas Calientes, asistidos por abogados del Centro de Derecho Ambiental interpusieron un Recurso de Revisión en contra del resolutivo. La autoridad ambiental lo declaró improcedente.

CFE espera que finalmente prevalezca la mesura en todos los actores sociales, pueda construirse el proyecto hidroeléctrico y se alcancen los objetivos múltiples previstos.

CONCLUSIONES

1. CFE considera que el PH La Parota será un importante proyecto de desarrollo integral cuyos beneficios trascenderán a la población local, más allá de la generación de energía eléctrica.
2. CFE ha terminado la ingeniería básica del proyecto (la ingeniería del desvío hasta el nivel de detalle) y los documentos para la licitación en el esquema contractual tipo OPF. Ha estudiado suficientemente las características hidrológicas y sismotectónicas del sitio, lo que ha dado gran certidumbre a su ingeniería básica.
3. A pesar de la oposición de un reducido grupo de habitantes, apoyado por diversas organizaciones opositoras a la construcción de presas, CFE considera que el desarrollo del proyecto sigue siendo socialmente viable, aunque requiere del apoyo total del Gobierno del Estado de Guerrero para seguir adelante con la hidroeléctrica, aunque siempre privilegiando el respeto pleno a los derechos humanos y a las decisiones de las comunidades relacionadas directamente con el proyecto.
4. CFE prevé la formación inmediata de un "Comité Interinstitucional para la Atención del PH La Parota", en el cual participen representantes de los tres niveles de gobierno y los órganos de representación agraria. Este Comité dará certidumbre a la población respecto al cumplimiento de todos los compromisos que asuman la CFE y los tres niveles de Gobierno y facilitará la gestión oportuna de las diversas acciones legales que haya lugar.

AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece a los ingenieros Ernesto Zurutuza Vera, Javier García de la Merced, Gerardo Román Castañeda, Carlos Lecanda Terán y Guillermo García Malo su ayuda para preparar este documento, y a la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, de la Comisión Federal de Electricidad, el permiso para hacer uso de la información.

REFERENCIAS.

1. Vázquez Lucio, José Luis, Estudio geotécnico preliminar del material 3B para la presa La Parota (pedraplén de prueba y pruebas gigantes de laboratorio), Informe 04-132-SGM/S, Subgerencia de Geotecnia y Materiales, CFE, Diciembre de 2004.
2. Romo Organista, Miguel, Sarmiento Solano, Neftalí, y Martínez Galván, Sergio, Análisis Sísmico de la Cortina (Enrocamiento con Cara de Concreto) de la Presa La Parota, Instituto de Ingeniería, UNAM, 30 de Julio de 2004.

LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS Y SU GESTIÓN INTEGRADA POR CUENCAS EN UN CONTEXTO DE ESCASEZ, EL CASO DE GUANAJUATO

Ricardo Sandoval Minero

Adrián Ávila Reyes

RESUMEN

En contextos de escasez aguda, los programas de desarrollo hídrico que contemplan únicamente medidas de uso eficiente del agua, mejora administrativa de los sistemas, rehabilitación de infraestructura y equipos, implantación de precios realistas, mejora del conocimiento y divulgación para propiciar conductas afines al buen uso del agua, son necesarios pero insuficientes para atender en tiempo las necesidades de la población y la economía. Por ello, resulta indispensable diseñar e implantar medidas estructurales que permitan maximizar el aprovechamiento y reutilización del agua, transferir agua entre cuencas aledañas y proteger a zonas densamente pobladas de los efectos de inundaciones. En esta ponencia, se describe el caso de Guanajuato dentro de las cuencas Lerma-Chapala, Santiago y Pánuco, la dinámica y problemática de las mismas, así como las medidas que se han llevado a cabo los últimos diez años para implantar un programa integrado que incluye, de manera complementaria, la construcción de presas. Son descritas las características técnicas y contexto financiero y sociopolítico de los proyectos de las presas Ortega, Paso de Vaqueros, Sepio, Mariches, El Realito y San Nicolás, la primera concluida, la segunda en proceso de conclusión, las dos siguientes próximas a iniciarse y las dos últimas en negociación interestatal. Se revisan las condiciones propias de cada caso, las soluciones de ingeniería y las perspectivas de su construcción y operación, en relación con los más recientes lineamientos internacionales en materia de construcción de presas y de gestión integrada. Se proponen principios para sustentar el desarrollo futuro de proyectos de esta naturaleza.

CONTEXTO GENERAL

El Estado de Guanajuato, con menos del 2% de la superficie y el 4.5% de la población del país, participa con cerca del 9% de la generación de producto interno bruto nacional. Con todo ello, décadas de un intenso desarrollo han generado una presión creciente sobre los recursos naturales, particularmente sobre el agua disponible, por lo que atraviesa una crisis hidráulica sin precedentes que pone en riesgo su desarrollo. Guanajuato vive hoy el desarrollo de un ambicioso programa de transformación económica, que apunta a convertir al estado en el más importante nodo comercial del centro de México —con un puerto interior con instalaciones para el comercio intermodal, en el puente terrestre entre los puertos marítimos de Altamira, Tamps. y Lázaro Cárdenas, Mich., cruzado por autopistas y vías férreas modernizadas. En este contexto, el Gobierno del Estado ha planteado un programa hidráulico con el que, en coordinación con los órdenes federal y municipal, buscan iniciar un proceso de reversión del desequilibrio hidrológico, introducción de nuevas fuentes de abastecimiento, consolidación de sistemas usuarios eficientes en sus aspectos técnicos y administrativos, todo ello sobre la base de una transformación institucional.

Cerca del 80% de la superficie de Guanajuato se encuentra en la cuenca Lerma-Chapala, de la cual constituye casi la mitad; además, 97% de los habitantes del estado vivimos en dicha

cuenca y dependemos de ella. El 87% del agua es utilizada en la agricultura, por encima del promedio nacional; del agua superficial, el 99.7% se utiliza para este fin. A raíz de los acuerdos establecidos en el contexto del Consejo de Cuenca en 1991, se han efectuado inversiones que superan los 1000 millones de pesos y han permitido atender, con menos agua, a los casi 25,000 usuarios de los módulos y unidades de riego del estado, así como empezar a revertir la sobreexplotación de aguas subterráneas. Estas políticas incluyen acciones de uso eficiente, cambio de cultivos y organización de productores.

Aún así, el desequilibrio hidrológico persiste y es grave: sólo en el caso del agua subterránea, se estima superior a los 1200 Hm³ anuales, equivalentes a un caudal cercano a los 38 m³/s. Si consideramos que prácticamente la totalidad de los habitantes del estado dependemos del agua subterránea para el abasto público urbano y gran parte del rural, aunado al acelerado abatimiento de los acuíferos que ha provocado la sobreexplotación, es claro que una intensa iniciativa de gestión hídrica es impostergable para evitar un colapso de consecuencias incalculables para toda la región Centro-occidente y el país en general.

Mientras en el Estado se utilizan cerca de 200Hm³ por encima del escurrimiento generado en el territorio, en promedio, el desequilibrio estimado en aguas subterráneas supera de cinco a seis veces esta cantidad y genera un abatimiento anual promedio superior a 2.5 metros, con los consiguientes problemas en la calidad del agua, fenómenos de subsidencia del terreno, ruptura de redes de servicios urbanos y modificación de las pendientes de las estructuras de drenaje sanitario y pluvial. En Guanajuato no hay más agua disponible; su supervivencia depende de asegurar, simultáneamente, un manejo integrado del recurso agua y sus cuencas, recuperando agua disponible a través del uso eficiente, más la adición de caudales mediante el tratamiento de aguas residuales y la importación de agua de cuencas externas a la Lerma-Chapala.

La estrategia busca, en síntesis:

- Revertir el desequilibrio hidrológico, por la vía del uso eficiente del recurso mediante la reconversión productiva de las áreas de riego, principalmente
- Introducir volúmenes adicionales de agua utilizable al sistema, mediante el incremento de volúmenes de agua residual tratada y la importación de caudales de las cuencas de los ríos Verde, afluente del Santiago, y Santa María, afluente del Pánuco
- Sostener un enérgico programa de reordenamiento administrativo de las extracciones, en un esquema participativo y apoyado en inversiones para el uso eficiente del agua subterránea
- Recuperar los cuerpos de agua mediante el tratamiento de las aguas residuales y el desarrollo de proyectos de restauración ecológica, principalmente el caso de Yuriria
- Mejorar la eficiencia administrativa y técnica de los sistemas de abasto público urbanos y rurales, así como los sistemas productivos (distritos y unidades de riego)
- Acompañar todo el proceso por acciones de reforma y soporte institucional, que aporten en forma sostenida los recursos humanos y financieros, los mecanismos institucionales adecuados (en cuanto al marco legal y organización administrativa), así como los elementos de información que favorezcan la creación de una conciencia social, actitudes y hábitos más propicios para el buen uso del agua.

Es decir, un gran esfuerzo para tener más agua y usarla bien, en forma sostenible.

En este documento se expone el papel que la construcción de presas juega dentro de la estrategia integral de gestión del agua en Guanajuato, en dos casos:

- Incremento del agua disponible, a través del aprovechamiento de aguas de la cuenca del Río Pánuco (proyectos Paso de Vaqueros y El Realito), para el abasto de la zona noreste, así como importación de agua para el abasto a la ciudad de León (proyecto San Nicolás)
- Protección de centros de población, mediante la construcción de presas de control de avenidas (Ortega, Mariches y Sepio)

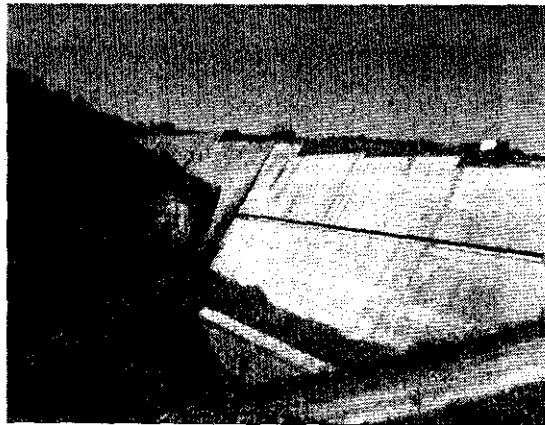
PRESA PASO DE VAQUEROS

Esta presa, actualmente en construcción, se ubica en el municipio de San Luis de la Paz y tiene por objeto apoyar la sustitución de las fuentes actuales de dicha localidad, dado el fuerte abatimiento de los acuíferos y la presencia de parámetros fuera de norma en esa zona.

Sus características principales son:

Altura:	51.1 mts
Tipo:	Colcreto
Vertedor:	Libre tipo crouger para un gasto de
Uso:	200 litros/seg de agua potable
Beneficiados:	40,000 habitantes de la cabecera municipal y cuatro comunidades

Esta obra garantizará el abastecimiento durante los próximos 30 años, tanto a la cabecera municipal como a seis comunidades incluyéndose la población de Mineral de Pozos, la cual es objeto de un desarrollo turístico creciente.



En términos sociales, la población reubicada por la construcción de la Presa de Paso de Vaqueros, fue objeto de varias formas de beneficio, como son nuevas y mejores casas habitación, desarrollo urbanístico, energía eléctrica e introducción de agua potable.

Actualmente se concretan con el Gobierno Federal los mecanismos de financiamiento para la construcción de la línea de conducción y planta potabilizadora. El Municipio y el Gobierno del Estado inician simultáneamente un amplio programa de fortalecimiento técnico y comercial del organismo operador, contemplando la sectorización completa de la red de distribución y la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.

PRESA DE “EL REALITO”

Para garantizar el abasto a largo plazo de la zona noreste de Guanajuato, en 1999 se iniciaron estudios hidrológicos entre éste Estado, San Luis Potosí y Querétaro en el Río Santa María, afluente del Pánuco, obteniendo resultados que fueron validados por la Comisión Nacional del Agua en 2002. A partir de entonces, fueron estudiados varios sitios posibles; dentro de Guanajuato, se analizó y descartó el sitio “El Capulín”, debido a la alta carsticidad de la cuenca media del Río Santa María. Así, se llegó a la ubicación del sitio “El Realito”, propicio hidrológica, geotécnica y geológicamente para la construcción de una presa. Se llevaron a cabo los estudios correspondientes y se verificó la viabilidad de esta obra, la cual cuenta ya con proyecto ejecutivo de la cortina y estudio de factibilidad del acueducto, así como con un convenio firmado entre Guanajuato y San Luis Potosí para compartir en partes iguales los 2 m³/s susceptibles de ser aprovechados en el sitio.

Esta presa tiene las siguientes características principales:

Altura: 88.50 mts

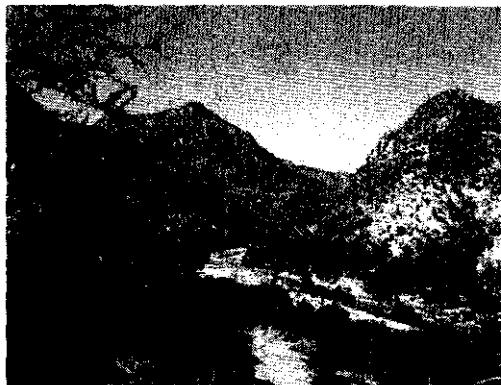
Longitud: 350 mts

Tipo: CCR

Vertedor: Libre para 1,304 m³/seg

Capacidad total: 57.45 Hm³

Uso: 2,000 litros/seg de agua potable, de los cuales son 1m³/s para el estado de Guanajuato y 1 m³/seg, para el estado de San Luis Potosí



Cabe destacar que, de las aguas aprovechables, el 75% se genera en la cuenca correspondiente al Estado de San Luis Potosí; ante ello y bajo un contexto de equidad, los gobiernos estatales iniciaron una serie de negociaciones, llegando a acordar que del total aprovechable se repartiera en 50%; estas gestiones culminaron el día 05 de mayo del 2005, con la firma de los acuerdos de Coordinación entre Guanajuato y San Luis Potosí, para el aprovechamiento de las aguas de la presa El Realito. Actualmente ambos Estados negociamos conjuntamente los títulos de asignación y el esquema de financiamiento para la obra.

Dado que esta obra, con un costo total estimado en cerca de \$2,000 millones y un bombeo cercano a los 1000 metros, representa un reto en términos de viabilidad económica, se instrumentarán esquemas que permitan contar con un subsidio a la inversión y una estructura de abasto con subsidio cruzado con usos productivos, tal que se alcance la viabilidad financiera. Este tipo de situaciones —en las cuales a la dificultad técnica se suma la necesidad de “provocar” la viabilidad financiera de grandes obras de infraestructura— serán cada vez más frecuentes en México.

Por lo que respecta al aspecto social, la obra implica la relocalización de poco más de 50 familias; hasta el momento, los pobladores del sitio del proyecto han contado con la más amplia información y se han mostrado participativos. Ambos Estados nos hemos comprometido a conducir un proceso ejemplar de gestión del tema social, que sin embargo, seguramente no estará exento de intromisiones.

PRESA DE “SAN NICOLÁS” O DE “RÍO VERDE”



Vista de aguas abajo hacia aguas arriba, del sitio del eje de la cortina “San Nicolás”, donde se construirá la presa.

El proyecto más importante para el Estado de Guanajuato es sin duda el aprovechamiento de las aguas del río Verde, en la cuenca del Río Santiago, mediante un embalse que se ubicaría cerca de la localidad de San Nicolás, en el Estado de Jalisco, para el abastecimiento a la ciudad de León. Se trata de un proyecto de importantes dimensiones, con una demanda de hasta 5600 litros por segundo, de los cuales fueron reservados al Estado de Jalisco 1,800 litros por segundo para las localidades de la región de Los Altos y 3,800 a Guanajuato, para la ciudad de León, en un Decreto Presidencial de 1995. Como cualquier proyecto de este tipo, más allá de su viabilidad

técnica, financiera y legal, la factibilidad social, en particular derivada de la conformidad de quienes tendrán que ser reubicados o afectados en su propiedad para llevar a cabo esta obra de interés público, es la primera condición que debe cumplirse. Adicionalmente, de manera pública el Gobierno de Jalisco planteó en su momento la necesidad de resolver simultáneamente a la gestión de este proyecto, la revisión del acuerdo de coordinación de la Cuenca Lerma-Chapala, la cual se concretó el 14 de diciembre de 2004, con la firma de los cinco Gobernadores de un nuevo Convenio de Concertación y Coordinación, refrendado por los representantes de los usuarios el 14 de enero.

La presa tiene antecedentes importantes. Antes de la década de los 90, ya se analizaba por parte de la autoridad federal y del Estado de Guanajuato, qué alternativas podrían darse para el abasto de largo plazo a la ciudad de León, una de las ciudades con mayor crecimiento económico e impacto regional en el país. El 23 de febrero de 1990 los estados de Jalisco y Guanajuato, manifestando su interés y voluntad por desarrollar el proyecto, firmaron un primer acuerdo de coordinación para concurrir en la realización de estudios hidrológicos. En noviembre de 1994, firmaron un segundo acuerdo, relativo a la definición de la disponibilidad, distribución y usos de las aguas del río Verde, todo ello bajo la coordinación de la Comisión Nacional del Agua, responsable por ley de la programación hidráulica nacional. Con base en los trabajos realizados, en abril de 1995 se decreta la reserva de los volúmenes señalados a favor de los estados de Guanajuato y Jalisco, decreto que fue modificado en 1997 al solicitar el estado de Jalisco una fracción de su reserva para el uso pecuario. En 2002 se firmó una minuta de acuerdos que dio paso al nuevo acuerdo de coordinación entre ambos estados, dirigido a la colaboración en las actividades tendientes a la gestión de los aspectos sociales, el financiamiento de las obras, la construcción de los sistemas para las ciudades de Los Altos, León y Guadalajara, así como las bases para establecer reglas de operación.

Entre 1995 y 2003, la ciudad de León llevó a cabo acciones con un enorme esfuerzo técnico y financiero para cumplir las condiciones que en 1994 fueron definidas como requisito para acceder al agua del Río Verde. Mejoró notablemente su eficiencia comercial (con 100% de facturación y 98% de recaudación), llegó a una macromedición y micromedición plenas en su red urbana, alcanzó una cobertura de saneamiento de aguas residuales del 78% con una inversión cercana a los 500 millones de pesos y desarrolló las fuentes alternas de La Muralla I y II. Con una dotación real cercana a los 120 litros per cápita diarios, León había cumplido con sus metas y estaba listo para desarrollar la nueva fuente de abastecimiento: el sistema San Nicolás-León. Por su parte, el Gobierno del Estado de Guanajuato inició su intervención a favor del proyecto en el año 2000, con la instalación, bajo coordinación y con la autorización de la CNA, de una estación hidrométrica en la zona de estudio, así como con el desarrollo de proyectos de revisión hidrológica y, en marzo del 2003, la firma de un anexo de ejecución con la CNA para el desarrollo de los estudios de factibilidad previos al proyecto ejecutivo. Este proceso ha implicado una discusión de fondo sobre el derecho al agua, la relación de las entidades federativas para su aprovechamiento y las prerrogativas de quienes habitan las zonas en que la infraestructura se construye.

Así, esta presa solucionará la problemática del abastecimiento de agua potable a la ciudad de León, Gto., así como a las ciudades de los Altos de Jalisco por más de 25 años y permitirá regular caudales que mejoren el aprovechamiento de la presa de Arcediano, para la ciudad de Guadalajara, propiciando así mismo que disminuyan las extracciones al Lago de Chapala para abastecer a esta última metrópoli. Dado que de las aguas enviadas a León se generarán volúmenes de agua tratada adicionales para la cuenca Lerma-Chapala, al disminuir la presión sobre el Lago de Chapala e incrementar los flujos en la cuenca, con este proyecto se generarán beneficios simultáneos a Los Altos de Jalisco, Guadalajara, León y la cuenca Lerma-Chapala.

La Presa de "San Nicolás" tendrá las siguientes características principales:

Altura: 65.00 mts

Longitud: 350 mts

Tipo: CCR

Uso: 5,6000 litros/seg de agua potable, de los cuales son 3.8m³/s para el estado de Guanajuato y 1.8 m³/seg, para las ciudades de los altos de Jalisco

El proyecto ha mostrado ser técnicamente viable; financieramente, la estabilidad y capacidad económica del organismo operador, el Municipio de León y el Estado de Guanajuato, le dan al proyecto un claro soporte. Sin embargo, está sujeto a la gestión eficaz de los aspectos sociales, a cargo del Gobierno de Jalisco a solicitud de sus autoridades, con el apoyo del Gobierno Federal. Los habitantes que podrían ser reubicados por la construcción de la presa han merecido todo el respeto y consideración de las Autoridades; el proyecto enfrenta en este punto su principal reto y, bajo los criterios de la administración del Presidente Vicente Fox, ve en su viabilidad social la condición fundamental para su realización, la cual marcará un parteaguas para las ciudades del futuro mexicano. Es indispensable identificar proyectos que puedan ser desarrollados con pleno apego a los criterios más recientes de construcción de presas y acueductos, sobre la base de una amplia viabilidad técnica y ambiental, fundamentos financieros y económicos responsables y con la participación informada de la sociedad.

PRESA DE ORTEGA

Esta presa, de control de avenidas, inicio su construcción en el año del 2003 y se finalizó en mayo del 2004; sus características son las siguientes:

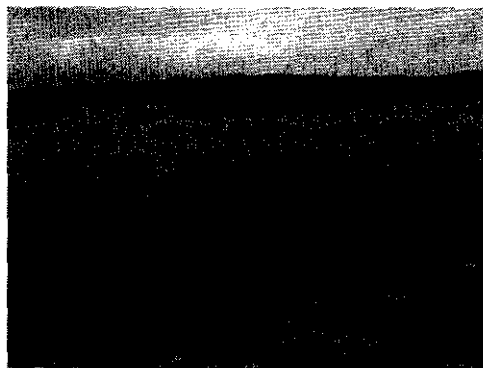
Altura: 25.5 mts

Longitud: 665 mts

Tipo: materiales graduados.

Volumen regulable de control: 6.11m³/seg

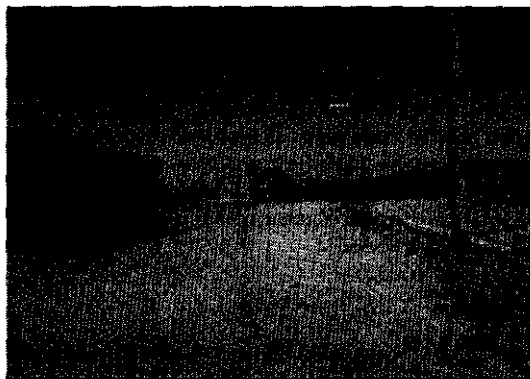
Población beneficiada: 25,104 hab, así como la zona industrial de Irapuato-Salamanca



Vista del embalse de la presa de Ortega en julio del 2004, después de registrar su primer llenado y utilizarse el vertedor de demasías.

La construcción de esta presa, vino a solucionar un problema que se presentaba año con año en la zona industrial de Irapuato y de Salamanca, donde se ubican instalaciones estratégicas como el LAPEM de la CFE e instalaciones de PEMEX, así como gaseras particulares y fabricas de productos químicos peligrosos; además, existen varias localidades rurales en la zona sureste de la ciudad de Irapuato y poniente de Salamanca.

La población afectada de San Juan Temascatio, fue reubicada a menos de 1 km de sus lugares de origen; así mismo, dentro de la negociación se acordó otorgarles los espacios suficientes para que ellos construyeran sus casas habitación bajo su propio diseño, y no darles diseños de los cuales en un futuro ellos pudieran estar en desacuerdo; se proporcionó control en infraestructura urbanística, electricidad y servicio de agua potable por pipas y baños secos.



Vista de las casas del poblado de reacomodo, en construcción, con servicios básicos; los pobladores construyeron a su libre decisión.

En el año de 2004 en la que se terminó la construcción de la presa, se presentaron lluvias extraordinarias que fueron controladas por la misma y se logró darle seguridad al patrimonio de los Guanajuatenses, al no presentarse inundaciones por parte de este Río.

PRESA MARICHES

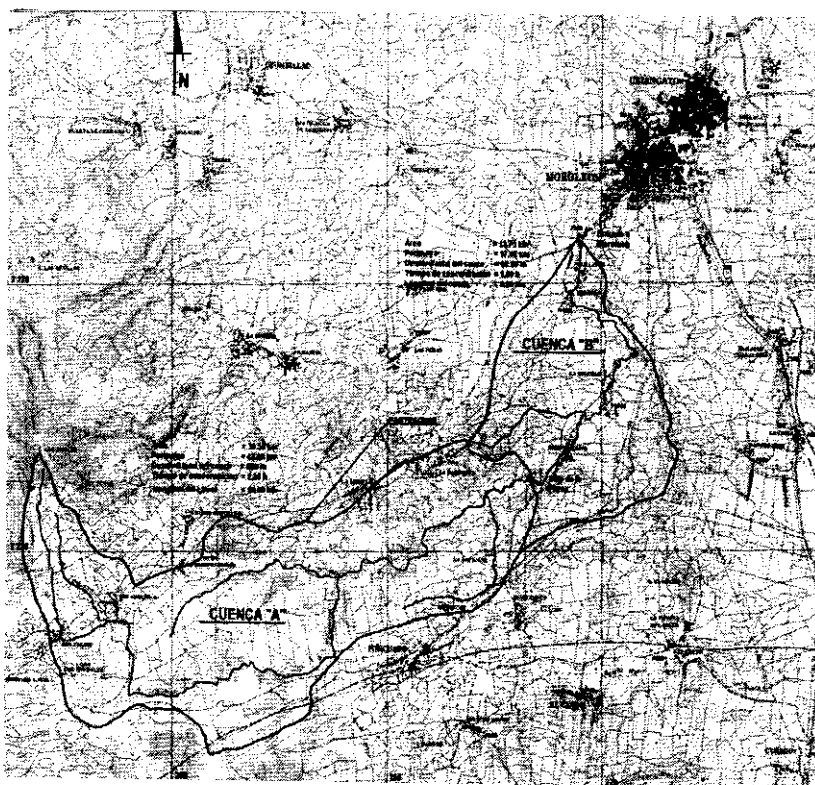
Este proyecto en particular, viene a solucionar una problemática de la ciudad que se presenta cada año. La inundación de la zona norponiente de la ciudad de León, en los últimos cuatro años se han presentado avenidas importantes que ha generado pérdidas económicas ya que el arroyo Mariches, pasa por en medio de la ciudad de León. El proyecto ejecutivo fue realizado por la Comisión Federal de Electricidad, bajo contrato de la Comisión Nacional del Agua.

Está proyectada la construcción de esta presa en este año, sus características principales son:

Altura:	19.3 mts
Longitud:	270 mts
Tipo:	materiales graduados.
Volumen regulable de control:	4.97m ³ /seg
Población beneficiada:	52,000 habs., de la Ciudad de León.

Por la ubicación del sitio, la mancha urbana de la ciudad de León invade las áreas del futuro vaso, lo que ha complicado la liberación de los terrenos, con presencia de conflictos de tenencia, en trámite de solución. En caso de persistir los problemas, el Gobierno del Estado podría plantear a la Comisión Nacional del Agua el rediseño del embalse con una cortina "rompepicos". Este proyecto evitará cuantiosos daños a instalaciones y propiedades urbanas y edificios públicos.

Vista de las casas del poblado de reacomodo, en construcción, con servicios básicos; los pobladores construyeron a su libre decisión.



En la gráfica se observa la cuenca de aportación de la Presa de Sepio, así como el Río atraviesa la zona urbana de Moroleón e Uriangato

PRESA DE SEPIO

La problemática de la presa no ha sido tan fuerte como en los casos descritos con anterioridad; esta futura obra, presenta una serie de ventajas, ya que el vaso no inunda ninguna población, la comunidad más cercana se ubica a 1 km aguas abajo del eje de la cortina, hasta donde llega un

camino pavimentado en regulares condiciones. Los mismos habitantes han solicitado la realización de esta obra desde la década de los años de 1940, por lo que una vez que se concretaron los estudios y diseño ejecutivo, su ejecución ha dependido únicamente de la plena liberación de los predios, prácticamente concluida a la fecha, así como de la gestión del presupuesto federal, actualmente en trámite.

La presa de Sepio tiene las siguientes características:

Altura: 21.1 mts

Longitud: 229 mts

Tipo: materiales homogéneos.

Volumen regulable de control: 4.3 m³/seg

Población beneficiada: 30,520 hab, de la ciudad de Moreleón e Uriangato

CONCLUSIONES

La construcción de presas no puede suplir la necesaria reorientación del desarrollo hidráulico hacia criterios de gestión de la demanda, uso eficiente y recuperación de cuencas y acuíferos. Sin embargo, la dinámica del desarrollo demográfico y económico del centro de México no admite dilación en la gestión de nuevas fuentes de abastecimiento y proyectos para la protección de las actividades que, bien o mal, ya están asentadas en esta parte de nuestro país. El Estado de Guanajuato busca, a través de la ejecución simultánea de acciones para la recuperación de los acuíferos y el fortalecimiento técnico y administrativo de sus sistemas usuarios, tanto productivos como de uso público urbano y rural, atender de manera responsable las necesidades que plantea su desarrollo futuro, sin descuidar los aspectos sociales y ambientales que requieren ser atendidos en los proyectos de presas. La ingeniería del siglo XXI debe ser abierta y sensible a los aspectos económicos, legales, políticos, sociales y ambientales del desarrollo hidráulico, pero siempre con la determinación necesaria para atender en forma oportuna las necesidades que plantea el desarrollo.

*Las Presas
y el Hombre*

Financiamiento de las presas



ESTRUCTURA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA BAJO LA MODALIDAD PIDIREGA

Lic. Guillermo Fernández Pineda

INVERSIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO

Actualmente, las inversiones requeridas para la prestación del servicio público de energía eléctrica en materia de generación, transmisión y transformación de energía, así como de suministro, regasificación y transporte de gas y manejo de carbón, se realizan bajo tres estructuras básicas:

- **Inversión Presupuestal:** contratación de Obra Pública con recursos presupuestales de la Entidad;
- **Inversión Financiada Directa:** contratación de Obra Pública Financiada de todo tipo de infraestructura eléctrica e infraestructura asociada a ésta -bajo la modalidad PIDIREGA-, financiada por el Contratista durante el período de construcción y refinanciada por la Entidad a la aceptación de las obras;
- **Gasto Corriente:** contratación de Prestación de Servicios y Adquisiciones, (i) de compraventa de capacidad y energía (PIE's); (ii) de suministro, regasificación y transporte de gas; y (iii) de recibo y manejo de carbón. La infraestructura requerida para la prestación del servicio está a cargo del Prestador, quien es el dueño de la misma, recuperando la inversión parcial o totalmente a través de la tarifa pagada por la Entidad. Aún siendo contratos de Adquisiciones, los PIE's se estructuran como de Inversión Financiada Condicionada, bajo la modalidad PIDIREGA, y se rigen por la LSPEE y no por la Ley de Adquisiciones.

DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE INVERSIÓN

Para la elección de alguna de las estructuras anteriores, se considera principalmente:

- La disponibilidad presupuestal;
- Fecha en que el proyecto es requerido y tiempo de construcción;
- La rentabilidad del proyecto;
- Tratándose de proyectos de generación y conforme a la LSPEE y su Reglamento, la determinación de la SENER respecto a quién debe implementar el mismo, CFE o un privado (excepto generación nuclear que está reservada a CFE), con base en la comparación de costos económicos totales de largo plazo de la energía a ser adicionada al, o sustituida del sistema eléctrico nacional;
- El monto de inversión, la tecnología y la complejidad del proyecto, considerando asimismo riesgos constructivos y de carácter social, de obtención de permisos, de firmeza en la generación, flujos del proyecto y plazo de recuperación de la inversión que permitan su viabilidad financiera, etc.;

- Si se trata o no de ampliaciones a infraestructura existente propiedad de la Entidad.
- No obstante que de conformidad con la legislación vigente pueden ser desarrollados por entes privados bajo las figuras de producción externa de energía de Producción Independiente y de Pequeña Producción, considerando los anteriores factores, los proyectos de generación hidroeléctricos, geotermoelectrícos y eólicos cuya energía se dedica a la prestación del servicio público de energía eléctrica, tradicionalmente son realizados mediante Inversión Presupuestal y, últimamente, la mayoría con Inversión Financiada Directa, mediante contratos de Obra Pública Financiada en la modalidad PIDIREGA.
- Lo anterior independientemente de la posibilidad legal que tienen entes privados, o gubernamentales no dedicados a la prestación del servicio público de energía eléctrica, para desarrollar este tipo de proyectos bajo las modalidades de Autoabastecimiento, Cogeneración, Pequeña Producción y Exportación de energía eléctrica.

ESTRUCTURA PIDIREGA

La modalidad de Proyectos de Inversión Diferida en el Registro del Gasto (PIDIREGA), surge cuando el Gobierno Federal determina que existen dos tipos de inversiones públicas, a las que debe darse un tratamiento distinto en su registro contable, presupuestal y de deuda pública:

- Aquellas que nunca serán recuperadas, por tratarse de inversiones en obras de tipo social o estratégico (proyectos para la construcción de hospitales y escuelas públicas, carreteras sin peaje, reclusorios, infraestructura militar, etc.), mismas que se realizan con recursos presupuestales; y
- Aquellas que generarán recursos suficientes para cubrir las obligaciones de pago derivadas de la misma inversión, mediante la venta de los productos y/o servicios que generan (infraestructura eléctrica, petrolera y de gas, aeroportuaria, carreteras de cuota, etc.), las que se realizan como inversiones financiadas o PIDIREGAS.

Existen dos tipos de estructura PIDIREGAS:

- De **Inversión Directa**, cuando la finalidad del contrato respectivo es que los activos del proyecto pasen a ser propiedad de la Entidad (contratos de Obra Pública Financiada); y,
- De **Inversión Condicionada**, cuando debido a la ocurrencia de algún evento especificado en el contrato respectivo (incumplimiento de la Entidad o fuerza mayor gubernamental) la contingencia de adquisición de los activos del proyecto se materializa y resulta obligatoria para la Entidad, sin ser la finalidad del contrato (contratos de Producción Independiente de Energía y otros contratos de Prestación de Servicios para el suministro y transporte de gas y de manejo de carbón).
- De conformidad con la normatividad vigente y ante la escasez de recursos presupuestales, las dependencias y entidades del sector público vienen

desarrollando los proyectos de infraestructura requeridos, a través de estructuras de inversión financiada bajo la modalidad PIDIREGA.

- Los PIDIREGA requieren para su implementación de dictámenes técnicos, ambientales y económicos, así como de diversas autorizaciones de la SHCP, la SENER, la CIGF y la Cámara de Diputados.
- Los montos autorizados y comprometidos, directos o contingentes según sea el caso, se reflejan anualmente en el PEF del ejercicio correspondiente, hasta su total liquidación o extinción (en caso de compromisos contingentes).
- La esencia PIDIREGA consiste en que el proyecto a desarrollar debe ser rentable (que su operación genere los recursos para el repago de las obligaciones contratadas por la Entidad para hacer el pago al Contratista), lo que tiene que ser evidenciado mediante un estudio de costo-beneficio. No procede pago alguno, hasta en tanto el proyecto esté en condiciones de generar los recursos para su pago.
- El concepto PIDIREGA implica un registro contable, presupuestal y de deuda pública particular, distinto al que se da a inversiones realizadas con recursos presupuestales, dado que el riesgo de construcción del proyecto recae en el Contratista y, por tanto, la obligación de pago de la Entidad surge únicamente a la conclusión y aceptación del mismo, de conformidad con las condiciones contractuales.

FACTORES DE RIESGO

Los acreedores potenciales del proyecto consideran primordialmente los siguientes factores de riesgo para el otorgamiento del financiamiento:

- **Riesgo País:** fortaleza de su economía, estructura del gobierno, regulación cambiaria, ambiente político, problemática social, etc., que se refleja en una calificación crediticia determinada;
- **Riesgo de la Fuente de Repago** (CFE u otro ente público o privado beneficiario del proyecto): su relación con el gobierno, garantías de éste, antecedentes crediticios, autorizaciones, acceso a divisas, subsidios a tarifas, inmunidad de ejecución, moneda de pago en caso de controversia, estados financieros, incluyendo capacidad de pago, inversiones, ingresos, apalancamiento, etc., mismos que también se reflejan en una calificación crediticia;
- **Riesgo de Construcción del Proyecto:** complejidad, factibilidad técnica y financiera, problemática social y del sitio, existencia de todos los permisos y autorizaciones, monto máximo de penalizaciones, consecuencias de retrasos y no cumplimiento de valores garantizados, etc.
- **Riesgo Contratista:** antecedentes, estructura societaria, garantías a otorgar (acciones, flujos, etc.).
- Efectos Ambientales del Proyecto.

ESTRUCTURA FINANCIERA DE PROYECTOS OPF

Un Contrato de Obra Pública Financiada (OPF) establece los siguientes aspectos financieros relevantes:

Existen tres modalidades de contratos OPF:

- **Contrato a Precio Alzado:** en el que precio del contrato es una cantidad fija que no está sujeta a ajuste de costos, salvo que se presenten circunstancias económicas de tipo general que sean ajenas a las partes (ej. precio del acero).
- **Contrato a Precios Unitarios:** en el que el precio del contrato se determina con base en precios unitarios, que son aquellos en que el importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al Contratista se hace por unidad de concepto de trabajo terminado, mismos que si están sujetos a ajuste de costos.
- **Contrato Mixto:** en el que precio del contrato es (i) parte a precio alzado, y (ii) parte a precios unitarios.
- El Contratista es el único responsable de la obtención del financiamiento durante el período de construcción y el cumplimiento de sus obligaciones no está sujeto a la obtención del mismo.
- CFE no otorga garantía alguna para la obtención del financiamiento, únicamente la documentación razonablemente requerida por el Contratista para dicho fin (cesión de derechos, opinión legal, certificados, estados financieros, programas de inversión, etc.).
- La CFE no hace ningún pago, sino hasta la aceptación del proyecto (pueden ser 2 o más pagos, a la terminación de eventos específicos que permitan que el proyecto genere recursos para su repago, como pueden ser la aceptación de cada una de las varias unidades, y/o la culminación total del proyecto, en los porcentajes del Costo Total del Proyecto que se pacten en el contrato).
- El pago se hace en dólares EUA (excepto el IVA), mediante transferencia bancaria.
- La CFE certifica mensual o quincenalmente el avance de las obras del mes anterior, lo que permite al Contratista la revolvencia de los desembolsos del financiamiento contratado por él.
- La certificación de avance no implica una obligación de pago para CFE (puede haber variaciones a las obras reconocidas, solo por causas supervenientes).
- El Contratista emite garantías de Cumplimiento (carta de crédito incondicional o fianza, por el 10% del Costo Total del Proyecto o por el monto de inversión anual) y de Calidad (por el Costo Total del Proyecto por

uno o dos años a partir de la aceptación provisional) para garantizar el cumplimiento de sus obligaciones y el pago de montos a su cargo.

- CFE puede hacer deducciones del Precio Total del Contrato por montos debidos por el Contratista de conformidad con el contrato. No opera compensación con contratos distintos entre las mismas partes.
- CFE toma el riesgo de la adquisición de derechos de vía y sitios; en proyectos hidroeléctricos asume también riesgos hidrológico (llegada anticipada y/o falta de lluvias) y geológico (variaciones en relación al estudio proporcionado por CFE).
- En caso de rescisión del Contrato por incumplimiento de CFE o fuerza mayor, CFE se obliga a pagar las obras ejecutadas y los gastos no recuperables; tratándose de rescisión por incumplimiento del Contratista, CFE solo paga las obras ejecutadas.
- Se establece un plazo (generalmente 60 días) de diferimiento de las fechas de aceptación provisional, por causas imputables a CFE o a fuerza mayor gubernamental (el Contratista lo contempla en su propuesta).

FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS OPF

- Derivado de la magnitud, complejidad, costo y plazo de construcción, y considerando el riesgo de construcción que asume el Contratista y sus acreedores, tratándose de proyectos hidroeléctricos la obtención de financiamiento resulta compleja bajo la modalidad OPF, sin embargo, la estructura financiera aplicable a éstos es similar a la de cualquier otro proyecto OPF o incluso PEE, con las siguientes características principales:
- En ocasiones se requiere que el proyecto se financie inicialmente mediante un crédito puente otorgado bancos comerciales por aproximadamente 15% del costo de la inversión, durante el período que dure la negociación de financiamiento para construcción definitivo (aproximadamente un año).
- Para los desembolsos iniciales del crédito puente, cuando no existen reconocimientos previos de avance de las obras, el Contratista tiene que garantizar los mismos mediante entrega de carta de crédito.
- Para la obtención del financiamiento puente y el definitivo, el Contratista tiene que ceder los derechos de cobro derivados del contrato.
- El financiamiento de construcción definitivo se obtiene generalmente de (i) la banca comercial (nacional y extranjera); (ii) emisión de bonos en los mercados internacionales; y (iii) de organismos bilaterales y esporádicamente

de organismos multilaterales, o de una combinación de tales fuentes. Los desembolsos generalmente son prorrateados de las distintas fuentes (lo que puede variar tratándose de financiamientos otorgados por organismos multilaterales y bilaterales), mismas que tienen una prelación de pago igual.

- El Contratista y sus acreedores se comprometen para financiar hasta un 25% adicional al Precio Total del Contrato (por obras adicionales o incremento de costos).
- Al cierre del financiamiento definitivo, con los recursos de éste se cubre el adeudo del crédito puente, cancelándose la prenda sobre los derechos de cobro a favor de los acreedores del mismo, constituyéndose una nueva prenda sobre los derechos de cobro derivados del contrato, a favor de los acreedores del financiamiento definitivo.
- Adicionalmente a los derechos de cobro cedidos a los acreedores para garantizar el repago del financiamiento, generalmente se requiere la constitución de una prenda sobre (i) la propiedad de las acciones de la empresa contratista (cuando se trata de una SPE); (ii) las obras ejecutadas; (iii) los equipos de construcción; (iv) el pago de seguros; (v) los derechos de subcontratos; y (vi) una cuenta de retención por un porcentaje del Precio Total del Contrato (la ganancia del Contratista, que se libera una vez pagado el financiamiento).
- Los desembolsos del financiamiento que realiza el Contratista, están sujetos a la revolvencia que se genera en virtud de la emisión de los certificados de avance de obra por parte de CFE y a la autorización de un Ingeniero Independiente que actúa por cuenta de los acreedores.
- En los certificados de avance de obra, CFE puede reconocer gastos preoperativos y no recuperables no reflejados en las obras (como gastos de preparación de propuesta, pago de seguros, comisiones y gastos relacionados con el financiamiento, etc.).
- En el supuesto de una terminación anticipada del contrato CFE paga el Valor de Terminación resultante de una fórmula preestablecida, que se basa en los reconocimientos de avance de obra emitidos por la Entidad. En caso de controversia respecto al Valor de Terminación, solo se afecta la parte controvertida, pudiéndose someter a peritaje o arbitraje.
- Valor de Terminación: $VT=VO + CT - SC - S$, donde:
 - VO: Valor de las obras reconocido por CFE
 - CT: Costos de terminación o gastos no recuperables (no pagaderos en caso de terminación imputable al Contratista)
 - SC: Sobre Costos (penas convencionales y otros adeudos del Contratista)
 - S: Recursos derivados del pago de seguros

- Para no afectar el flujo de fondos para el repago del financiamiento a los acreedores del proyecto, en caso de la aplicación de penalizaciones al Contratista o el pago de otros montos a su cargo, CFE se compromete a realizar sus esfuerzos razonables para cobrar primero las garantías, antes de aplicar deducciones al Precio del Contrato.
- La preocupación principal de los acreedores para acceder al financiamiento de proyectos OPF, consiste en la ocurrencia de un incumplimiento del Contratista y el riesgo de que CFE no rescinda el Contrato, y por tanto no surja su obligación de pagar las obras ejecutadas.



EL CAJÓN
OBRA PÚBLICA FINANCIADA

Ing. José Luis Guerrero

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROYECTO

- Capacidad de 750 MW (2 turbinas de 375 MW c/u)
- Promedio Anual de Producción de Energía: 1,228.6 GWH
- Confinamiento al máximo nivel de llenado: 38.5 km²
- Altura de la Cortina: 186 m
- Longitud de la Cortina en la cresta: 550 m
- Volumen de Materiales en la Cortina: 10'435,000 m³
- Volumen en la Cara de concreto: 51,200 m³
- Longitud Túnel 1: 706 m
- Longitud Túnel 2: 786 m
- Sección Túnel (Portal): 14 x 14 m
- Gasto Máximo: 6,500 m³/seg
- Período de construcción: 5 años

EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÍNICO

- Turbinas Tipo (posición del eje) : Francis (vertical)
- Número de unidades 2
- Potencia máxima (turbina) 422,56MW
- Potencia mínima (turbina) 249,19MW
- Potencia nominal (a carga neta de diseño) 380,33MW
- Gasto de diseño 259,7m³/s
- Eficiencia considerada a caída de diseño (100% de carga) 95,4%
- Eficiencia media pesada a caída de diseño 95,00%

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

- Costo inicial de USD \$748.3 millones
- Ingeniería básica y diseño proporcionado por CFE
- Proyecto PIDIREGAS

- Características
 - ✓ Proyecto de infraestructura (largo-plazo)
 - ✓ Estratégico o prioritario
 - ✓ Involucra la venta de productos y/o servicios
 - ✓ El flujo de efectivo generado es suficiente para cubrir sus obligaciones
 - ✓ Autorizado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público
- Estructura Obra Pública Financiada:
 - No hay anticipo
 - No hay pagos por avance
 - No hay obligación de pago hasta la culminación del proyecto y/o terminación anticipada del contrato



CONTRATO DE CONSTRUCCIÓN

- En licitación Internacional, Constructora Internacional de Infraestructura, S.A. de C.V. ("CIISA"), se adjudicó el contrato integrado de una componente a precio alzado y otra a precios unitarios
- CIISA es una Sociedad Anónima Mexicana:
 - Ingenieros Civiles Asociados, Mexico ("ICA") 25%
 - Promotora e Inversora Adisa, Mexico 35%
 - La Peninsular Compañía Constructora, Mexico "PENINSULAR") 20%
 - Energomachexport Power Machines, Russia ("ENERGO") 20%

- Monto del Contrato: USD \$ 748.3 millones (más trabajos adicionales solicitados por CFE)
 - Ingeniería detallada, construcción de obras asociadas, trabajos electromecánicos, pruebas y arranque
- Fecha de terminación del proyecto: Agosto 2007

RIESGOS Y MITIGANTES

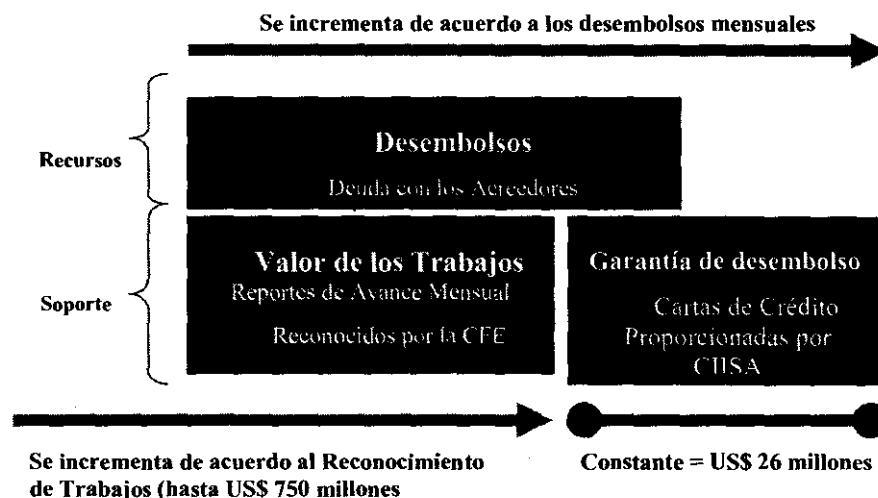
- La CFE toma los riesgos geológico e hidrológico
 - Contrato Mixto: Incluye Precio Alzado y una componente Precios Unitarios
 - Eventos geológicos cubiertos en el componente de precios unitarios
 - Eventos hidrológicos reconocidos por la CFE
- La CFE toma el riesgo de pago
 - Valor de terminación calculado con parámetros conocidos por el Contratista y CFE:
 - Proporciona un valor medible de salida en caso de incumplimientos
 - Reconocimiento periódico (mensual) del Avance de obra validado por CFE
 - Valor de Terminación
 - En caso de Fuerza Mayor
 - Por incumplimiento de la CFE
 - Por incumplimiento del Contratista
- Riesgo Tecnológico/ Desempeño
 - Las turbinas de ENERGO son estandarizadas y tienen un diseño probado
 - El Consorcio es responsable de incumplimiento en las especificaciones, pagando daños liquidatorios.
- Riesgo de Construcción
 - Penalización Máxima por retrasos del 7%
 - Es Fuerza Mayor la imposibilidad de realizar pruebas por condiciones hidrológicas adversas
 - Supervisión y control constante del programa de construcción
- Riesgo Corporativo
 - Experiencia de los miembros del Consorcio en proyectos similares
 - Garantías solidarias y mancomunadas de los miembros del Consorcio
 - No se apoya en la capacidad financiera de los miembros del Consorcio al no existir recurso contra los accionistas.

- **Riesgo del Impacto Ambiental y Social**
 - Los estándares ambientales de CFE son próximos a los del Banco Mundial
 - Al estar Los acreedores adscritos a los Principios de Ecuador, solicitan que el proyecto cumpla ambientalmente con esos estándares
 - No se esperan dificultades ambientales
 - Fuerte apoyo local al proyecto
- **Riesgo País/Político**
 - Sólida Política macroeconómica, y consenso en política financiera
 - Cualquier cambio en el estado legal de CFE constituye un evento de incumplimiento

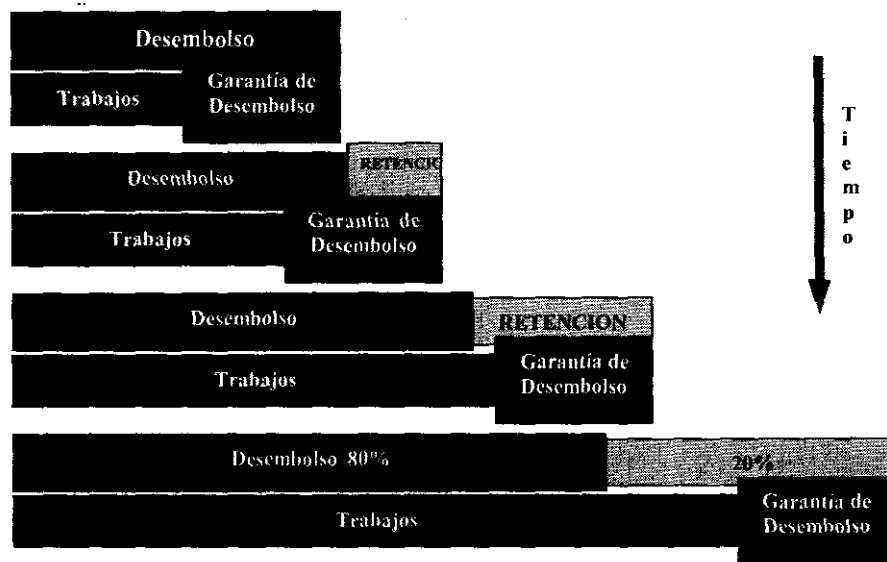
ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO

- El objetivo es estructurar una transacción que aísle todos los riesgos, dejando solamente el riesgo de pago a CFE
- Se logra así una transacción con grado de inversión al garantizar a los acreedores, que cada dólar desembolsado está garantizado a través de:
 - Reportes de Avance Mensual
 - Garantía de Cumplimiento
 - Garantía de Desembolso
 - Garantía de Desempeño
 - Garantías Auxiliares

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO—GARANTÍAS A LOS ACREEDORES



- Los recursos siempre están soportados
 - Por los Reportes de Avance Mensual, o
 - Por la Garantía de Desembolso



- Según se avanza en el incremento del reconocimiento mensual de los trabajos, se crea una retención.

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO-GARANTÍAS A LOS ACREEDORES

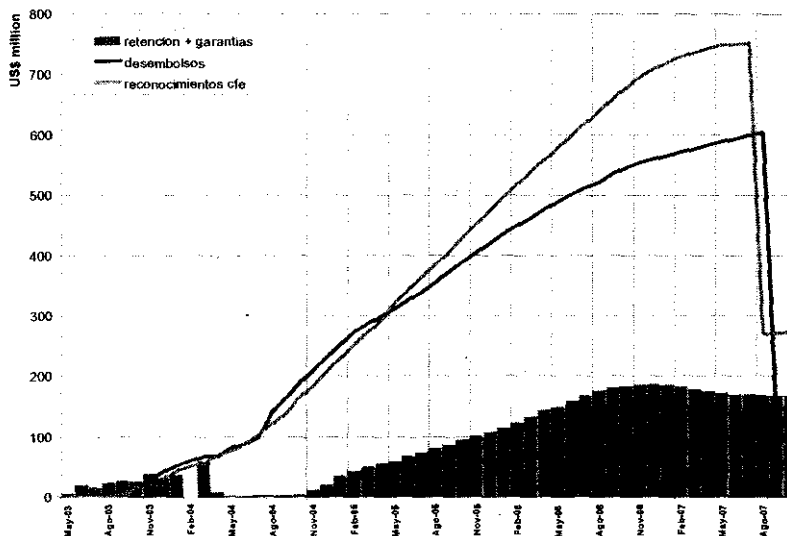
- Los recursos siempre están colateralizados
- Cada Desembolso debe cumplir la siguiente relación:

$$\begin{array}{c}
 \text{Máximo desembolso} \\
 = \\
 \text{Valor de trabajos}
 \end{array}$$

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO – GARANTÍAS Y SEGUROS

Fondo de Retención

- Según se avanza en los reconocimientos de CFE, se crea el Fondo de Retención como una garantía adicional a los acreedores



ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO – GARANTÍAS

GARANTÍAS

- Se ceden a los acreedores los derechos de cobro de los Reportes de Avance Mensual, los cuales implican el reconocimiento y certificación de CFE del avance del proyecto.
- CFE requiere una Garantía Cumplimiento para el proyecto, por el 10% a ejecutar en el ejercicio respectivo, siendo para el 2005 de USD \$ 30 millones en cartas de crédito.
- Se traslada el beneficio a los Acreedores de esta garantía, si no es requerida por CFE, a través de una asignación subordinada de la Garantía de Cumplimiento.
- Los Acreedores tienen una Garantía de Desembolso por USD \$26 millones en cartas de crédito.
- Se establece una Garantía de Desempeño por el 20% del contrato para garantizar la eficiencia requerida de las turbinas

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO-GARANTÍAS Y SEGUROS

GARANTÍAS AUXILIARES

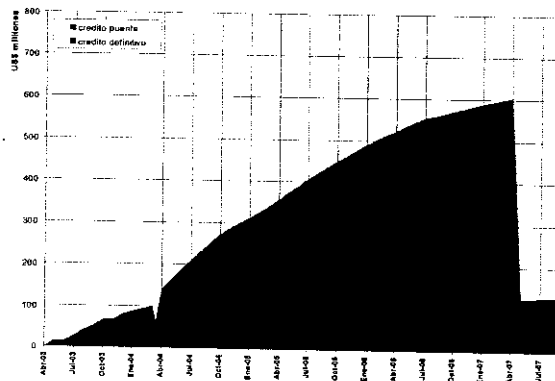
- Los Acreedores tienen prenda sobre los equipos electromecánicos
- Los Acreedores tienen prenda sobre las acciones corporativas de los miembros del Consorcio
- Se otorgan garantías corporativas solidarias y mancomunadas de los miembros del Consorcio a los Acreedores.

SEGUROS (19 MDD)

- Asegurado Múltiple
- ALOP
- Grandes Riesgos
- Equipo de Contratistas
- Terrorismo
- Transporte Marítimo

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO-IMPLEMENTACIÓN

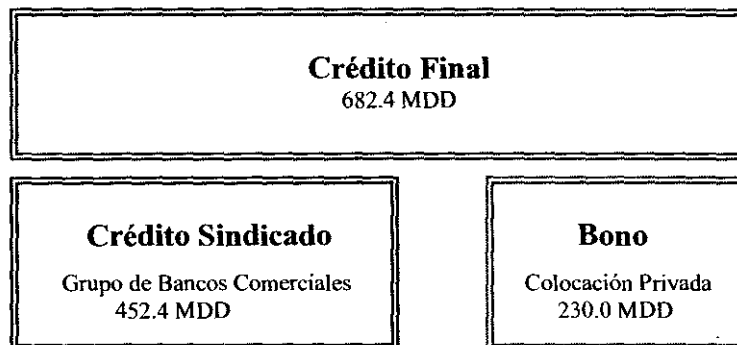
- Adjudicación: 14 marzo 2003
- Firma contrato: 26 marzo 2003
- Inicio trabajos: 26 marzo 2003
- Cierre financiero: 05 marzo 2004
- Crédito puente: financiar los trabajos de construcción durante un año a partir de la firma del contrato, por un monto de USD \$ 100 millones a una tasa Libor+2.5%, otorgando garantías corporativas.



**1er Pago CFE (60%)
febrero 2007
(repaga el 80%
del crédito)**

**2do Pago CFE (40%)
Costo 2007 (repaga el
20% del crédito)**

ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO-IMPLEMENTACIÓN



ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO-IMPLEMENTACIÓN

Crédito sindicado

En la sindicación participaron los siguientes bancos con el liderazgo de WestLB NY

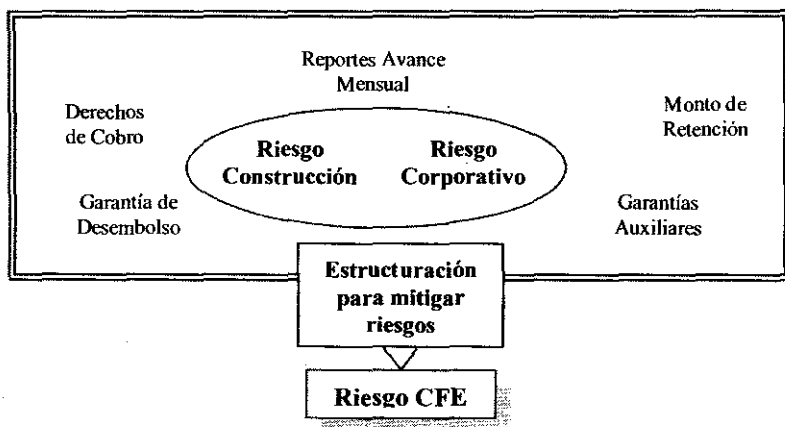
Cierre	100.0 MDD	Post Retail (8 de marzo 2004)	100.0 MDD	Actual	75.0 MDD
WestLB	100.0	WestLB	100.0	Santander	75.0
Santander	98.7	Santander	76.2	WestLB	72.4
HSBC	73.7	HSBC	51.2	HSBC	50.0
NordLB	50.0	NordLB	50.0	NordLB	50.0
DEPFA Bank	50.0	DEPFA Bank	50.0	BBVA Bancorner	50.0
BBVA Bancorner	50.0	BBVA Bancorner	50.0	KfW	27.5
GE Capital	25.0	GE Capital	25.0	Caterpillar Cred	25.0
Interacciones	5.0	UFJ	25.0	UFJ Bank Limited	25.0
		KBC	20.0	KBC Bank, N.V.	20.0
		Interacciones	5.0	ABSA Bank	15.0
				GE Capital	10.0
				LRP	10.0
				Nordcap Bank	9.5
				Interacciones	5.0
				Nateos	5.0
				DEPFA Bank	3.0
Total	452.4 MDD	Total	452.4 MDD	Total	452.4 MDD

• **Colocación Bono 144 A**

Participaron las siguientes instituciones en la colocación realizada por Citigroup NY y WestLB London:

Ofertas recibidas		Asignación final	
Allstate Investments	45.0 MDD	Allstate Investments	45.0
MDD			
Northwest Mutual	45.0	Northwest Mutual	40.0
AIG	35.0	AIG	35.0
ING	40.0	ING	30.0
Munich Re	20.0	Munich Re	17.5
MetLife	15.0	MetLife	15.0
Dwight AM	15.0	Dwight AM	15.0
Tiber AM	20.0	Tiber AM	12.5
Weiss Peck & Greer	10.0	Weiss Peck & Greer	10.0
DLJ	10.0	DLJ	1.0
Banamex	10.0	Banamex	1.0
Otros	18.5	Otros	8.0
Total		283.5 MDD	Total 230.0 MDD

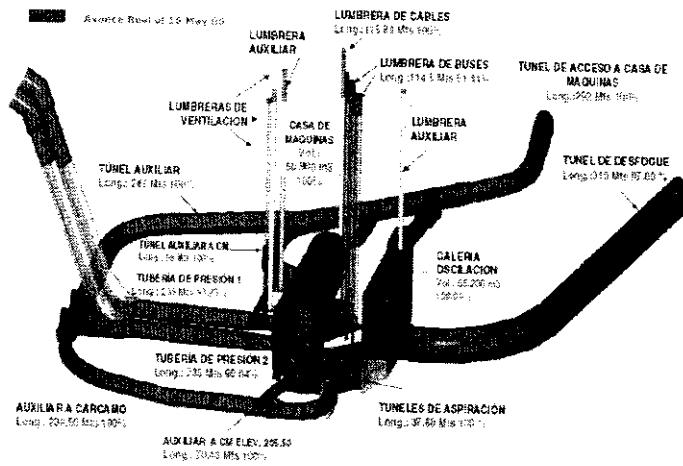
LA ESTRUCTURA FINAL GENERA UNA TRANSACCIÓN EQUIVALENTE A UN CRÉDITO CORPORATIVO DE LA CFE



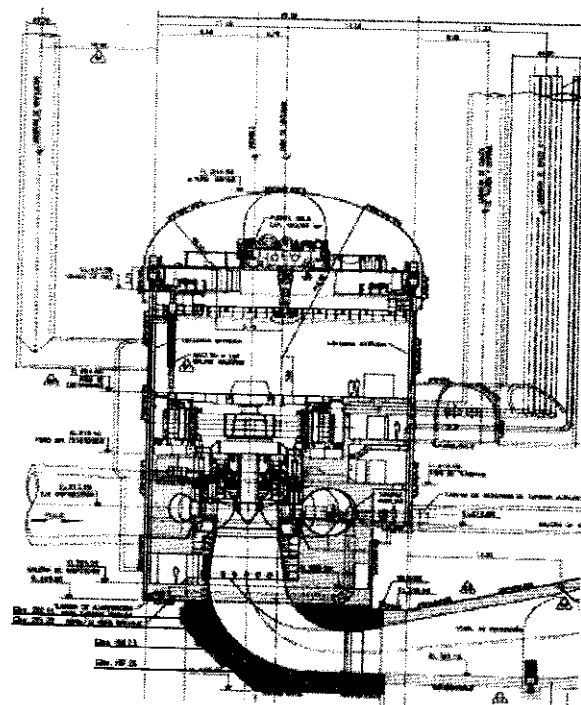
- La transacción recibió la calificación de grado de inversión por:
 - Standard & Poor's: BBB
 - Moody's: Baa3
- Recibió los premios como la transacción del año por Project Finance International, y Euromoney

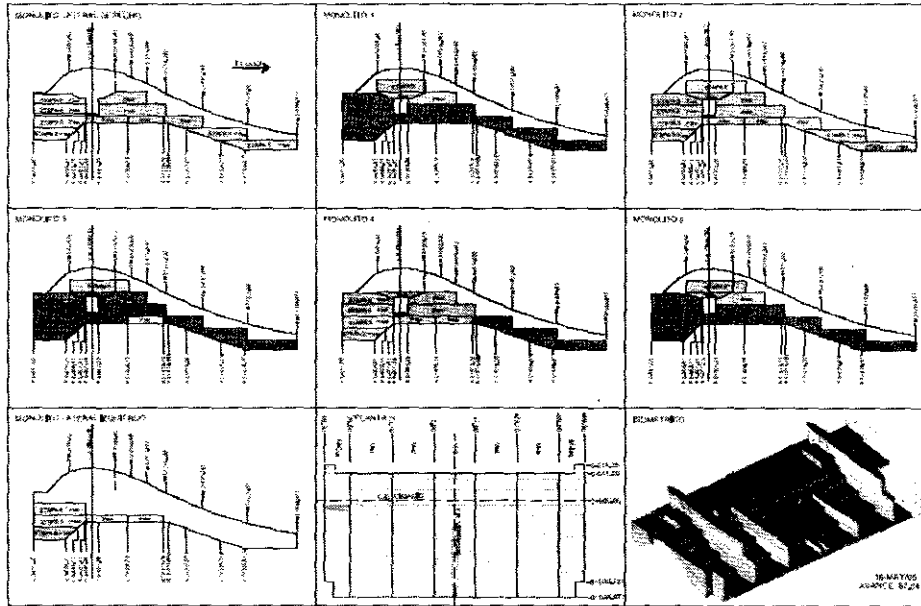
EXPERIENCIA DEL CONSORCIO

- ICA, fundada en 1947, es la compañía constructora mexicana más grande en proyectos EPC
 - Ha dirigido la construcción de 50 presas para irrigación, control de inundaciones y generación de energía incluyendo plantas hidroeléctricas con una capacidad de generación que excede los 13,000 MW
- La Peninsular, una subsidiaria de La Nacional, fundada en 1940, es una compañía constructora mexicana
 - Con experiencia en numerosos proyectos hidroeléctricos, incluyendo la P.H. Huites en consorcio con ICA
- Energo, fundada en 1966, es un proveedor de equipos electromecánicos de prestigio internacional.
 - Proveedor de mas de 35,000 MW de equipo de generación de energía en todo el mundo
- Los miembros del Consorcio construyeron exitosamente el Proyecto Hidroeléctrico de Aguamilpa con especificaciones similares, localizado a 77 km de la P.H. El Cajón.
- Los Ingenieros Independientes, consultores de los Acreedores, han confirmado la capacidad técnica del Consorcio en cada una de sus especialidades.
 - SARGENT & LUNDY (Ingeniería)
 - DAMES & MOORE (Ambiental)
 - MARSH (Seguros)



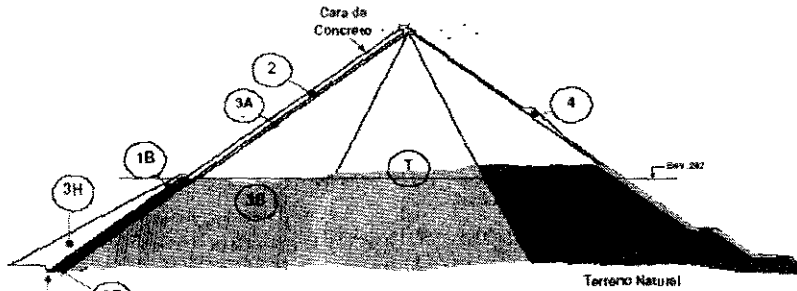
Colado y Empeque Tubo de Aspiracion Unidad 2, Casa de Máquinas





P.H. El Cajón
Avance en Colocación de Materiales para Cortina

Fecha de Corte
Lunes, 16-May-05



MATERIAL	Vol. M3 Teórico	Teórico Ajustado	Avance Agua	%	Falta para Terminar	Programa Acum.	Avance - Programa	Avance del Día	Programa del Día
1B Protección aguas arriba	25,984	58,258	0	0	58,258	0	0	0	9
3A Protección	232,493	238,718	60,547	25,389	178,161	62,449	-2,062	468	473
3H Protección aguas arriba	183,596	236,544	0	0	236,544	0	0	0	0
4 Protección Plomo	126,058	122,818	36,786	29,952	115,952	88,774	3,418	0	189
T Transición Plomo	3,698,342	2,460,132	2,628,711	82,82	3,418,942	1,598,278	-49,200	940	7,882
Sumas	11,090,707	10,172,032	5,912,974	49,28	5,158,153	5,062,692	-69,612	17,196	21,943

EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL FINANCIAMIENTO DE PRESAS EN MÉXICO

Ing. Luis F. Robledo Cabello

ÉPOCA DE LA COLONIA Y DEL MÉXICO INDEPENDIENTE (1550-1900)

Las presas tenían como propósito la irrigación de las vegas de los ríos.

Eran construidas sobre afluentes con escurrimiento permanente de los principales ríos, para evitar la construcción de vertedores de gran capacidad.

Su construcción tomaba muchos años y se hacía con materiales, herramientas y mano de obra de la región.

La ingeniería era la utilizada en España.

La construcción era financiada con el capital de los dueños de las haciendas.

La recuperación de la inversión era a través de la venta de los productos agropecuarios en las principales ciudades cercanas a la hacienda.

El riesgo de la inversión lo tomaba el hacendado.

PERÍODO 1901 – 1933

Después de la Revolución se inició la construcción de las primeras presas en México, sobre las corrientes principales de algunos ríos del centro y norte del país, con propósitos de irrigación y control de avenidas.

En general las presas principales construidas hasta antes de 1934, tenían como objetivo la irrigación y el control de avenidas y algunas pocas, como "Necaxa", la generación de energía eléctrica.

Sus capacidades de almacenamiento, control y sus alturas eran reducidas, destacando solamente "La Boquilla" en Chihuahua y la "Venustiano Carranza" en Coahuila.

La participación de la ingeniería mexicana era mínima.

La ingeniería en su mayoría era traída del extranjero (de Europa en la época de Porfirio Díaz y de Estados Unidos después de la Revolución), incluyendo los estudios, el diseño, la maquinaria y la construcción.

Su financiamiento se hacía principalmente con presupuestos del gobierno federal y eventualmente con créditos obtenidos en bancos del extranjero, casi siempre con el contratista atado al crédito.

Las inversiones en presas para irrigación no eran recuperables directamente. Tenían como objetivo el desarrollo de la agricultura de riego para el consumo nacional y la exportación a los Estados Unidos.

Las inversiones en presas para generación de energía eléctrica, como "Necaxa" o "Tejocotal", eran recuperables por las empresas privadas extranjeras prestadoras del servicio de energía eléctrica, a través de las tarifas.

Las principales presas construidas hasta 1934 fueron las siguientes:

PRINCIPALES PRESAS CONSTRUIDAS HASTA 1934			
Nº	PRESA	ENTIDAD FEDERATIVA	AÑO
1	Necaxa	Puebla	1909
2	La Boquilla	Chihuahua	1916
3	Requena	Hidalgo	1919
4	Venustiano Carranza	Coahuila	1927
5	Plutarco Elías Calles	Aguascalientes	1931
6	Pabellón	Aguascalientes	1931

PERÍODO 1934-1982

A partir de 1934 se inició la etapa de construcción de un gran número de grandes y pequeñas presas en México, para irrigación, control de avenidas, agua potable y generación de energía eléctrica.

Se constituyeron la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Nacional de Irrigación (posteriormente convertida en Secretaría de Recursos Hidráulicos y después reducida al órgano desconcentrado Comisión Nacional del Agua).

A partir de 1934 la ingeniería mexicana tuvo una participación creciente y de gran calidad en la construcción de las presas para todos los propósitos (irrigación, generación, control de avenidas, agua potable).

Se dejó de utilizar casi totalmente la ingeniería extranjera.

Se estableció una política de formación de ingenieros en todas las especialidades.

Se crearon numerosas plazas profesionales con sueldos dignos en la Comisión Nacional de Irrigación, posteriormente en la Secretaría de Recursos Hidráulicos y en la Comisión Federal de Electricidad.

Se crearon laboratorios de hidráulica, de mecánica de suelos y de estructuras en varias dependencias y entidades y floreció la investigación a través del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

La industria mexicana de la construcción y la cadena de la industria productiva relacionada con las presas, como la del transporte, la maquinaria, el cemento y el acero se desarrollaron y fortalecieron.

El financiamiento de las presas para irrigación y control de avenidas se hizo con presupuestos federales y algunos créditos externos de la banca de desarrollo internacional, con períodos de gracia suficientes y con bajas tasas de interés.

Se desarrolló en forma impresionante la agricultura de riego para el consumo nacional y se incrementaron las exportaciones agropecuarias, arraigando a los campesinos en sus tierras de origen.

Las inversiones no tenían recuperación directa sino indirecta a través del desarrollo económico regional.

Con el desarrollo agrícola se fortaleció la soberanía de los estados del norte del país.

Las inversiones en presas hidroeléctricas se hicieron con el presupuesto propio de la CFE y eventualmente con créditos externos.

La recuperación de las inversiones en hidroeléctricas fue a través de las tarifas por la prestación del servicio público de energía eléctrica.

Esta política de fortalecimiento de la infraestructura de presas para el desarrollo del riego, generación de energía, control de avenidas y eventualmente agua potable, siguió vigente hasta 1982.

PRINCIPALES PRESAS CONSTRUIDAS ENTRE 1934 Y 1982			
Nº	PRESA	ENTIDAD FEDERATIVA	AÑO
1	Tepuxtepec	México	1935
2	Palomas (Álvaro Obregón)	San Luis Potosí	1935
3	Cointzio	Michoacán	1935
4	La Angostura	Sonora	1936
5	Abelardo Rodríguez	Baja California	1937
6	Valsequillo (Manuel Ávila Camacho)	Puebla	1941
7	Temascal (Miguel Alemán)	Oaxaca	1944
8	Valle de Bravo	México	1944
9	Villa Victoria	México	1944
10	El Palmito (Lázaro Cárdenas)	Durango	1946
11	El Azúcar (Marte R. Gómez)	Tamaulipas	1946
12	Abelardo Rodríguez	Sonora	1948

**PRINCIPALES PRESAS CONSTRUIDAS
ENTRE 1934 Y 1982
(continuación)**

13	Sanalona	Sinaloa	1948
14	Las Vírgenes (Francisco I. Madero)	Chihuahua	1949
15	Solis	México	1949
16	Oviachic (Álvaro Obregón)	Sonora	1952
17	Falcón	Tamaulipas	1953
18	El Bosque	Michoacán	1954
19	Mocúzari (Adolfo Ruiz Cortines)	Sonora	1955
20	Temascal (Miguel Alemán)	Oaxaca	1955
21	Mahone (Miguel Hidalgo)	Sinaloa	1956-1964
22	El Marqués(Benito Juárez)	Oaxaca	1961
23	Infiernillo	Michoacán	1963
24	Humaya (Adolfo López Mateos)	Sinaloa	1964
25	Santa Rosa	Jalisco	1964
26	Malpaso (Nezahualcóyotl)	Chiapas	1964
27	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	Sonora	1964
28	El Sabino (Josefa Ortiz de Domínguez)	Sinaloa	1967
29	La Begoña (Ignacio Allende)	Guanajuato	1968
30	La Villita (José Ma. Morelos)	Michoacán	1968
31	El Granero (Luis L. León)	Chihuahua	1968
32	Vicente Guerrero	Guerrero	1968
33	Las Tórtolas (Francisco Zarco)	Durango	1969
34	La Amistad	Coahuila	1969
35	Las Adjuntas (Vicente Guerrero)	Tamaulipas	1971

PRINCIPALES PRESAS CONSTRUIDAS ENTRE 1934 Y 1982 (continuación)			
36	Guamúchil (Eustaquio Buelna)	Sinaloa	1972
37	La Angostura	Chiapas	1974
38	Las Garzas	Guerrero	1982
39	Comedero	Sinaloa	1982
40	Bacurato	Sinaloa	1982
41	Chicoasén	Chiapas	1982

PERÍODO 1983-1999

Con la entrada de México al GATT, la celebración posterior de los tratados de libre comercio (especialmente el TLCAN) y por las crisis económicas recurrentes, el gobierno federal cambió radicalmente la política nacional de inversiones en infraestructura.

En el período anterior se destinaba a la inversión en infraestructura productiva el 9% del Producto Interno Bruto.

Actualmente se aplica a la construcción de la infraestructura menos del 2% del PIB, cantidad muy inferior a la necesaria para que el país cuente con la infraestructura necesaria para el desarrollo interno y mejorar la competitividad internacional.

Las necesidades anuales de inversión en infraestructura son superiores a los 500,000 millones de pesos.

Las consecuencias de la reducida inversión pública en presas a partir de 1983 se aprecian en la siguiente tabla, en la que se incluyen las presas más importantes construidas entre 1983 y 1999 en donde destacan las de la CFE.

El escaso número de presas construidas en este período es apenas comparable al de las construidas en los primeros años del siglo XX:

PRINCIPALES PRESAS CONSTRUIDAS ENTRE 1983 Y 1989			
Nº	PRESA	ENTIDAD FEDERATIVA	AÑO
1	El Sabinal (Guillermo Blake)	Sinaloa	1985
2	El Salto (Aurelio Benassini Vizcaíno)	Sinaloa	1987
3	Chilatán	Michoacán	1989
4	Cerro de Oro	Puebla, Oaxaca y Veracruz	1947-1991
5	Trigomil	Jalisco	1993
6	El Cuchillo	Nuevo León	1994
7	Trojes	Jalisco	1994
8	Huites (CFE-CNA)	Sinaloa	1994
9	Aguamilpa (CFE)	Nayarit	1994
10	Zimapán (CFE)	Hidalgo	1994
11	Las Blancas	Tamaulipas	1999

A partir de 1983 las presas construidas más importantes son las de la Comisión Federal de Electricidad.

El gobierno federal abandonó casi totalmente la construcción de presas para irrigación y control de avenidas, con las pocas excepciones de la tabla anterior.

El financiamiento de las presas hidroeléctricas fue a partir de 1983 con recursos propios de la CFE y posteriormente bajo el esquema PIDIREGAS y particularmente el de Obra Pública Financiada.

La recuperación de las inversiones de la CFE se logra a través de las tarifas por la prestación del servicio público de energía eléctrica.

Los cuadros de ingenieros especialistas en los estudios, diseños, construcción, operación y conservación de presas se han ido desmantelando.

La industria mexicana de la construcción de presas y su cadena productiva de insumo está reducida a su mínima expresión y se mantiene sólo gracias a los proyectos hidroeléctricos.

Las presas futuras de la CFE pueden quedar en manos de empresas extranjeras, desde el diseño hasta la construcción, debido a los mecanismos de financiamiento involucrados.

Las empresas constructoras se han descapitalizado en recursos financieros, maquinaria, equipo e ingenieros.

La capacidad de endeudamiento y de obtener las garantías solicitadas es reducida para las empresas mexicanas.

En la tabla siguiente se aprecia la reducción drástica de la inversión en construcción de presas para riego, generación de energía, agua potable y control de avenidas, como resultado de las políticas del gobierno federal.

RESUMEN DE LAS PRESAS CONSTRUIDAS ENTRE 1550 Y 1999			
PERIODO	PRESAS PARA IRRIGACIÓN	PRESAS PARA GENERACIÓN	TOTAL
1550-1900	33	---	33
1901-1933	89	12	101
1934-1982	918	21	939
1983-1999	58	4	62

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Es urgente e ineludible destinar mayores recursos presupuestales, crediticios y de inversión privada a la construcción de la infraestructura del país

Debe continuarse con la construcción de proyectos hidroeléctricos para tener una capacidad instalada de cuando menos el 30% de la que requiere el sistema eléctrico nacional

Con lo anterior se reduce la dependencia de los hidrocarburos y especialmente del gas natural importado cuyos costos serán crecientes

La Comisión Federal de Electricidad es autosuficiente para financiar sus proyectos hidroeléctricos con una combinación de recursos propios provenientes de la venta de energía y de créditos amortizables por la misma vía.

Es indispensable estudiar y establecer mecanismos financieros y legales gubernamentales para fortalecer la competitividad financiera de las constructoras mexicanas.

La política de fortalecimiento de las constructoras no es responsabilidad única de las empresas mexicanas, sino que existe una corresponsabilidad del gobierno federal.

Es muy importante que nuestra infraestructura la hagamos los mexicanos.

Todos los países desarrollados subsidian la construcción de su infraestructura hidroagrícola. México no debe ser la excepción si queremos evitar la dependencia alimentaria y la salida de divisas.

Es necesario seguir construyendo presas de almacenamiento y control de avenidas con recursos federales recuperables, no directa sino indirectamente mediante la reactivación económica de la agricultura de riego.

Las presas para abastecimiento de agua potable para las grandes ciudades no deben ser subsidiadas por el gobierno federal (por ejemplo Monterrey y Guadalajara). Deben ser construidas con inversión privada y/o créditos a los municipios, recuperables a través de las tarifas del servicio.

Las políticas de subsidio a servicios urbanos concentran la población rural en las ciudades y los campesinos abandonan sus tierras de las cuales no pueden vivir.

Las políticas aplicadas por el gobierno federal en el campo mexicano en los últimos 20 años han inducido la emigración indocumentada a los Estados Unidos.

El proceso migratorio se puede reducir con inversión federal en presas de riego.

La construcción de infraestructura de presas para todos los usos activará de inmediato la cadena productiva de la infraestructura en el campo, generando empleos de inmediato.

Las Presas y el Hombre

Conclusiones y clausura



ASOCIACIÓN MEXICANA DE HIDRÁULICA

Conclusiones del Foro Internacional El hombre y las presas

SE REALIZARON 10 MESAS DE TRABAJO:

- Uso de las Presas
- Docencia, Investigación, Desarrollo Tecnológico
- Consideraciones Sociales
- Equipamiento Electromecánico
- Tendencias en el Diseño de Presas
- Impactos y Beneficios Ambientales
- Construcción de Presas
- Operación, Mantenimiento y Seguridad de Presas
- Presentación de Casos
- Financiamiento de las presas

Además se presentaron los principales avances de la red de laboratorios de hidráulica en México y de la organización del IV Foro Mundial del Agua.

I. USO DE LAS PRESAS

En México el 27% de las presas más altas son propiedad del Gobierno Federal y el 73% restante de los Gobiernos Estatales y particulares.

En la actualidad, para buscar la rentabilidad del proyecto de una presa, ésta debe servir para varios usos; tanto para riego, como para abastecimiento de agua a poblaciones, acuicultura, turismo, control de las avenidas y generación de electricidad.

Existe una gran oportunidad a nivel nacional y mundial para rehabilitar centrales hidroeléctricas ya que los beneficios de potencia y generación se estiman del orden del 20% de lo actualmente instalado.

II. DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Debido a que recién se retoma una nueva etapa en la construcción de grandes presas en el país y dado que hay un fuerte impulso para la rehabilitación y actualización tecnológica de las ya existentes, es necesario que en los centros de investigación se desarrolle conocimiento y tecnología y, que en las universidades y en los centros de especialización se capacite a las nuevas generaciones de profesionistas que heredarán y enfrentarán estos nuevos retos. Con estos nuevos talentos se deberán integrar grupos interdisciplinarios que tomen en cuenta los diversos usos del agua sin perder de vista las restricciones e impactos socio-ambientales. Estos grupos deberán ser

capaces de generar conocimiento y desarrollar tecnología a través de la búsqueda de nuevas técnicas, herramientas y materiales para economizar y hacer más eficiente y segura la construcción, la rehabilitación, la modernización y la operación de éstas magnas obras de la ingeniería hidráulica.

Durante este panel se presentaron algunas propuestas y aplicaciones concretas derivadas de la producción científica y tecnológica, y el desarrollo y transferencia de tecnología para mejorar, sistematizar y automatizar la medición de las principales variables hidráulicas, como son los caudales de ingreso y extracción así como los niveles en las presas; de la misma manera se señaló la imperiosa necesidad de actualizar los conocimientos en geotécnica y las prácticas de ingeniería que permitan atender los problemas asociados con el azolvamiento de los vasos de almacenamiento, el envejecimiento y el deterioro físico-químico de los materiales que conforman las cortinas de las presas, así como los daños estructurales derivados de los asentamientos naturales y las deformaciones locales generados por los eventos sísmicos, entre otros factores que ponen en riesgo su seguridad.

Debe existir una planeación de desarrollo económico de largo plazo que involucre todos los tipos de proyectos especialmente a las presas

Se deben proponer preferentemente presas de usos múltiples y la sociedad necesita conocer los programas de desarrollo de los diferentes proyectos de infraestructura de todas las dependencias de manera de poder opinar con anterioridad a la decisión de realizar un proyecto.

En el desarrollo y construcción de grandes obras hidráulicas, la ingeniería en México se ha visto siempre apoyada por los laboratorios como un medio de seguridad, sin embargo en los últimos años esa importancia se ha visto mermada de tal forma que se ha desaprovechado su potencialidad y en algunos casos se ha visto en la necesidad de tener que abandonarlos, lo cual significa una pérdida para el desarrollo del país. En consecuencia de ello surge la necesidad de crear la red de laboratorios de hidráulica en México, donde participan los laboratorios que están relacionados con la investigación, docencia o bien se encargan de realizar un desarrollo tecnológico.

III. CONSIDERACIONES SOCIALES

Para la realización de obras de infraestructura hidráulica, aún cuando estas sean multipropósito y benefician en varios sentidos como generación eléctrica, abastecimiento de agua, control de avenidas, es indispensable tomar en cuenta los aspectos sociales a fin de que las obras consideren las necesidades de las poblaciones del área de influencia y las mismas sean consideradas en el diseño y desarrollo del proyecto.

En términos generales se estableció:

En la construcción de los grandes proyectos que requiere el país, invariablemente se deberá considerar la atención al impacto social.

Para desarrollar los futuros proyectos, siempre se deberá contar con la participación de las autoridades locales, como son los gobernadores, presidentes municipales y los órganos de representación de los núcleos agrarios.

Las entidades gubernamentales deberán seleccionar a los profesionales que cuenten con la sensibilidad social para llevar a cabo las negociaciones con los grupos de afectados para los proyectos.

Considerar en los presupuestos para los proyectos los requeridos para las obras de beneficio social que permitan modificar el término de afectadas por el de beneficiados. Estas obras deberán ser definidas con la mayor sensibilidad para lograr su fin.

Las consideraciones que se tomaron para el Proyecto del Cajón:

La alineación de los objetivos propios del P.H. El Cajón con los definidos por el gobierno estatal para mejorar el desarrollo económico de Nayarit facilitó el difícil proceso de gestión social y aceptación del proyecto.

La integración y trabajo intenso del comité interinstitucional formado por las autoridades de los gobiernos estatal y municipal, y la CFE, permitieron conocer expectativas, prever conflictos y dar solución a los problemas planteados por las comunidades, así como dar confianza al proceso de gestión social.

La voluntad política de las autoridades estatales y municipales por impulsar el desarrollo del proyecto El Cajón, más allá de intereses y compromisos partidistas, hizo realidad la suma de esfuerzos comprometidos en beneficio de las comunidades.

La seriedad con la que CFE enfrentó el proyecto fue determinante y permitió formalizar el eje rector que ha llevado a el P.H. El Cajón al éxito, y que seguramente permitirá concluirlo de manera adecuada en tiempo y forma.

IV. EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO:

Se destacó la necesidad de provocar a los ingenieros para reaccionar ante la situación de falta de empleo actual y para las futuras generaciones, ocasionadas por la limitación del desarrollo tecnológico en el país y derivadas de las decisiones que consideran principalmente a economistas y licenciados.

Se presentó el equipamiento electromecánico principal de una central hidroeléctrica cuando se usa una presa para generación de energía, se destaca la importancia que reviste el equipamiento de la estructura vertedora como elemento de seguridad para la presa.

Se presentó otra opción para mantener o incrementar la potencia o generación de una central hidroeléctrica a través de la rehabilitación, repotenciación y modernización de los equipos electromecánicos, ante las diversas dificultades que actualmente se presentan para construir nuevas centrales, ya sea de carácter social, ambiental, financiero o que se haya agotado el aprovechamiento hidroeléctrico de un país.

V. TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE LAS PRESAS

Las tendencias de diseño se abocan a incrementar los periodos de retorno de las avenidas de diseño y reducir el riesgo, principalmente para las obras de desvío y fundamentalmente al construir túneles de rugosidad compuesta y ataguías integradas al cuerpo de la cortina.

Los costos de los materiales de construcción para este tipo de obras se han reducido en los últimos años por la aplicación de métodos constructivos más eficientes y con mayores rendimientos, en el futuro se desarrollarán principalmente presas de Enrocamiento con Cara de Concreto (ECC) con alturas superiores a los 200 metros y algunos vaticinan que llegaran a los 300 metros con costos del orden del 40% de las presas de materiales graduados.

Los modelos matemáticos predicen el comportamiento y deformación del cuerpo de cortina, pero no pueden simular el comportamiento real de la estructura.

La evolución en construcción de presas ha llevado al uso del Concreto Compactado con Rodillos (CCR) enriquecido, así como desarrollado mediante rampas con el uso de torres pantográficas, utilización de monorriel, correas transportadoras con ángulos de 45% y membrana (PVC).

Es necesario considerar en el diseño de las presas, métodos probabilísticos o de investigaciones recientes para evaluar el riesgo de causar daños y perjuicios sociales aguas abajo ante eventos extremos de tipo aleatorio como los hidrológicos y sísmicos.

VI. IMPACTOS Y BENEFICIOS AMBIENTALES

En relación con los impactos y beneficios ambientales se considera de vital importancia que desde los estudios de planeación se conceptualicen los proyectos con las medidas de mitigación, de tal manera de incorporar los costos de todas estas medidas y el proyecto siga siendo rentable económicamente, considerando preferentemente presas de usos múltiples para incorporar todos los beneficios de cada uno de ellos.

Los Certificados de Reducción de Carbono (CER) permitirán desarrollar proyectos hidroeléctricos con potencia instalada menor de 60 MW, así como centrales Eólicas y de Cogeneración.

En México no se ha determinado la línea base para el sector eléctrico, con el objeto de incorporar los proyectos al uso de estos certificados, por lo que se propone que la CFE debe calcular y publicar dicho parámetro.

A partir de febrero de este año, a nivel mundial, se empiezan a desarrollar los proyectos con bonos verdes.

La SEMARNAT apoya el desarrollo del país y ofrece su ayuda para conjuntamente con los diseñadores y constructores buscar ampliar los beneficios y reducir los impactos negativos.

VII. CONSTRUCCIÓN DE LAS PRESAS

Es necesario:

- a) Preparar una nueva ingeniería para poder diseñar y construir las presas del futuro.
- b) Definir mecanismos y políticas que permitan continuidad en la construcción de presas sexenio tras sexenio.
- c) Desde hace muchos años, aún en la actualidad, México es un país autosuficiente en el diseño y construcción de presas. Como prueba de ello, la presa de El Cajón se está diseñando y construyendo en tiempos más cortos que la de Aguamilpa, que es un proyecto muy similar.
- d) CFE es la única Institución del Gobierno Federal que tiene certificación de Calidad Total en todos sus procesos, y esto es extensivo a El Cajón.
- e) Deberá prestársele mayor atención a las visitas de los estudiantes, para infundirles cariño y enamoramiento a su profesión y a las obras.

f) Revisar y proponer una legislación que permita resolver los problemas expropiatorios de las tierras.

VIII. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

Se debe hacer un esfuerzo para incrementar el registro de presas de la CNA.

Los Planes de Riesgo se pueden hacer por las grandes instituciones, pero los pequeños propietarios operan y mantienen las presas.

Es urgente publicar la Norma Oficial Mexicana "Seguridad de Presas", para responsabilizar a los propietarios de la seguridad de estas obras a sus propietarios, y potenciar la capacidad de vigilancia de la Comisión Nacional del Agua. Actualmente está en proceso de elaboración y se espera que pronto estará lista como un primer borrador para obtener los comentarios y sugerencias de los interesados.

Es necesario revisar la seguridad de presas como un problema interinstitucional y de seguridad nacional tomando como base un grupo consultor, que además disponga de recursos propios para aplicarlos en las presas que se requieran.

En este foro internacional no se han presentado sólo los aspectos técnicos, ambientales y sociales, sino que el aspecto humano y la sensibilidad de todos los presentes afloró de manera por demás representativa de que los miembros de la Asociación Mexicana de Hidráulica siguen siendo humanos y no tan cuadrados como a veces se les cataloga.

IX. PRESENTACIÓN DE CASOS

Se presentaron los casos de las Presas en el Estado de Jalisco, La Parota en Guerrero y las diferentes presas recientemente construidas, en proceso de construcción y la negociación interestatal en proceso para lograr seguir construyendo Presas en el Estado de Guanajuato para cumplir con los requerimientos de los diferentes sectores.

Los programas de desarrollo hídrico que contemplan únicamente medidas de uso eficiente del agua, mejora administrativa de los sistemas, rehabilitación de infraestructura y equipos, implantación de precios realistas, mejora del conocimiento y divulgación para propiciar conductas afines al buen uso del agua, son necesarios pero insuficientes para atender en tiempo las necesidades de la población y la economía. Por ello, resulta indispensable diseñar e implantar medidas estructurales que permitan maximizar el aprovechamiento y reutilización del agua, transferir agua entre cuencas aledañas y proteger a zonas densamente pobladas de los efectos de inundaciones.

X. FINANCIAMIENTO DE LAS PRESAS

Se deben aprovechar las ventajas de los PIDIREGAS, y de la CFE en el manejo de ellos para el financiamiento de estas obras, sobre todo impulsando presas de usos múltiples.

MENSAJE DE CLAUSURA DEL PRESIDENTE DE LA AMH

Dr. Gustavo A. Paz Soldán Córdova

Doctor Felipe Arreguín Cortés, Subdirector General Técnico de la Comisión Nacional del Agua y representante personal del *Licenciado Cristóbal Jaime Jáquez*, Director General de la Comisión Nacional del Agua, *Ingeniero Eugenio Laris Alanís*, Director de Proyectos de Inversión Financiada de la Comisión Federal de Electricidad, *Ingeniero Ernesto Navarro*, Secretario de Desarrollo Económico del Estado de Nayarit, Distinguidos Miembros del Presidium, Señoras y Señores:

Gracias a todos ustedes el foro "Las presas y el hombre" ha cumplido con el programa que nos habíamos trazado. El análisis y revisión que nos propusimos hacer sobre las presas y su entorno, se cumplió, con más de 300 asistentes se manifestó el enorme entusiasmo de su participación.

El Contador Público Antonio Echevarría Domínguez, Gobernador Constitucional del Estado de Nayarit nos concedió el honor de inaugurar la exposición y el Foro, nuestro enorme agradecimiento al apoyo que con su presencia y mensaje nos otorgó el Señor Gobernador.

Indudablemente que la coordinación de cada una de las sesiones en que se organizó nuestro evento, aunada a las excelentes presentaciones de nuestros panelistas, merecen todo nuestro reconocimiento y gratitud y, además de haber mostrado la situación actual han provocado la disertación y consenso sobre varios temas, que hemos vertido en las conclusiones que obtuvimos de este foro.

Reiteramos nuestra gratitud por su enorme labor y responsabilidad a quienes coordinaron los temas del foro, gracias:

Doctor Felipe Arreguín Cortés, Doctor Nahúm García Villanueva, Ingeniero Jaime Sancho y Cervera, Ingeniero Manuel Viejo Zubicaray, Doctor Humberto Marengo Mogollón, Maestro en Ciencias Juan Elvira Quesada, Ing. Benjamín Granados Domínguez, Ingeniero José Manuel Fernández Dávila e Ingeniero Eugenio Laris Alanís

Igualmente nuestra felicitación y agradecimiento a todos nuestros brillantes y reconocidos panelistas.

Hemos obtenido varias conclusiones que la Asociación Mexicana de Hidráulica se compromete, como parte fundamental de su quehacer, en difundirlas con las autoridades correspondientes y en el marco del 4º Foro Mundial del Agua donde presentaremos nuestra opinión y los resultados que aquí hemos obtenido, expresaremos los grandes beneficios que las presas nos han dado y el avance tecnológico que se ha obtenido, recomendaremos estudiar y tomar en consideración todos los aspectos relevantes para tomar la decisión de construir una nueva presa atendiendo con prontitud y exactitud a todos los involucrados, especialmente al hombre y al medio ambiente, realizando una evaluación socioeconómica y financiera completa del proyecto.

Así también, los trabajos de este Foro, se publicarán por la AMH en su colección "Avances en Hidráulica".

Sin la presencia de todos los participantes, de nuestros expositores y panelistas no hubiésemos logrado nuestro propósito, por ello quiero agradecer a las empresas patrocinadoras quienes nos apoyaron y participaron en nuestra exposición, así también agradezco el apoyo que nos brindaron la Comisión Nacional del Agua, la Secretaría de Agricultura y Recursos Naturales y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, especialmente el gran interés y participación que la Comisión Federal de Electricidad nos ha otorgado, muchas gracias Ingeniero Eugenio Laris, por favor haga llegar nuestro mensaje de agradecimiento al Ingeniero Alfredo Elías Ayub, Director General de la Comisión Federal de Electricidad.

Nuestros invitados especiales son los estudiantes, ustedes son los futuros diseñadores, constructores y operadores de las presas y su interés y gusto por ellas esperamos se haya acrecentado con este Foro.

Nuestro gran aprecio y reconocimiento a tantas atenciones y regalos que nos brindó el gobierno del Estado de Nayarit, agradecemos al Señor Gobernador Antonio Echevarría Domínguez por todo esto, pero muy especialmente por su presencia. Ing. Ernesto Navarro agradecemos su presencia y le pedimos haga llegar nuestra enorme gratitud al Señor Gobernador, la Asociación Mexicana de Hidráulica siempre lo recordará con gran aprecio.

Esperamos que su estancia haya sido placentera y hayan disfrutado en todo momento tanto en lo técnico, como en lo social. Todo esto ha sido gracias al gran trabajo que con toda su voluntad y valía desarrollaron mis compañeros del Comité Organizador, agradecemos al Doctor Humberto Marengo la coordinación general del evento, al Doctor Felipe Arreguín, la Dirección Técnica del Foro, así también nuestra gratitud por su empeño y trabajo realizado al Ingeniero Luís Athie, al Ingeniero Rogelio Rivero, al Ingeniero Sergio López de Lara y al Contador Lorenzo Calzada con sus equipos de apoyo. A las señoritas edecanes que con su trabajo y belleza hicieron más brillante este foro, muchas gracias.

Les pedimos una disculpa por los inconvenientes que hubiesen surgido, les aseguro fueron involuntarios, esperamos disfruten la cena de clausura que nos regala el gobierno del estado de Nayarit y que cerremos con broche de oro este magno evento con la visita el día de mañana a la Presa El Cajón.

Mantengamos la esperanza por el futuro que deseamos, continuemos en nuestro esfuerzo por lograr que nos escuchen y porque las obras que el hombre construye sean para su bienestar y protección.

MEMORIAS DEL FORO INTERNACIONAL "LAS PRESAS Y EL HOMBRE"

Las grandes obras de infraestructura son, por definición, portadoras de un alto impacto social y económico justificado por un beneficio duradero. Algunas de ellas en particular, revisten especial importancia por su magnitud y alcances como son las presas.

En este sentido, el 19 y 20 de mayo de 2005, la Asociación Mexicana de Hidráulica celebró el Foro Internacional "Las Presas y el Hombre", propiciando una excelente oportunidad para reunir a los mejores especialistas alrededor de un tema en el que la ingeniería mexicana ha desempeñado un papel preponderante.

Con el marco de la bella ciudad de Tepic, Nayarit, sede intencional por su cercanía con el impresionante proyecto hidroeléctrico en construcción "El Cajón", se desarrolló este foro con el objetivo de revisar los usos, beneficios, aspectos técnicos de diseño y aspectos constructivos modernos, así como los tipos de financiamiento de las presas grandes y pequeñas a nivel nacional e internacional.

Durante el magno evento se presentó el estado actual que con respecto a las características técnicas, sociales, ambientales, económicas y financieras, se tienen sobre la construcción de presas, de tal forma que, con la presencia de los más reconocidos técnicos, autoridades y conocedores de estos temas se apreció que los beneficios para México y su población son mayores que sus costos.

El tema ha sido abordado con anterioridad por nuestra asociación. En 1999 organizó el panel "El desarrollo de las Presas en México" cuyos resultados se presentan en un libro de la colección Avances en Hidráulica de fecha 5 de marzo de 1999, retomando la temática en esta ocasión, como respuesta a las diversas opiniones existentes sobre los beneficios que para el hombre y la propia naturaleza se obtienen de las presas.

Así, para dar continuidad sobre el tema se complementa la colección de Avances en Hidráulica con la producción de este libro de memorias del evento, con el fin de dar a conocer los resultados de este foro plural de avanzada incluyendo todas las participaciones presentadas.

Cabe destacar que el foro se constituyó como reunión preparatoria al IV Foro Mundial del Agua, el evento más importante sobre el tema a nivel global, que habrá de celebrarse en nuestro país a mediados del mes de marzo de 2006, por lo que los resultados de esta reunión serán incluidos en las aportaciones de México.

Vaya nuestro reconocimiento y sentido agradecimiento al Comité Organizador del Foro y, muy en especial, al Dr. Humberto Marengo, Coordinador General, y al Dr. Felipe Arreguin, Director Técnico, que nos han permitido integrar este compendio que le sugerimos a usted conservar como un adecuado referente y medio de consulta sobre las actualidades en materia de presas, que seguramente habrán de ser eslabón histórico y origen de los avances futuros.

DR. GUSTAVO A. PAZ SOLDÁN CÓRDOVA
Presidente del XXVI Consejo Directivo
AMH

DR. ÁLVARO A. ALDAMA
Director General
IMTA

