

129



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA

IMPORTANCIA DE LAS PRESAS DERIVADORAS EN EL SECTOR HIDRAULICO DEL PAIS

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:

RUBEN SANCHEZ CRUZ

[Handwritten signature]

DIRECTOR DE TESIS: DR. MOISES BEREZOWSKY V.



MEXICO, D. F.

MARZO 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las personas más importantes en mi vida, a las que han convertido este mundo, mi mundo, en un lugar digno de vivir y disfrutar, porque ellos están ahí:

Rubén, mi padre excepcional, mi ideal, el que me dio la fuerza y el conocimiento, el que siempre será mi modelo a seguir, mi héroe, el que siempre me pondrá los pies en la tierra. Sin ti esto no sería real porque eres tú el que me motivó a seguir adelante a pesar de todo, este logro es tuyo y para ti. Es un honor llevar en mis venas tu sangre. Te amo.

Susana, mi madre única, irrepetible, la mejor de todas, la mujer que me abre los ojos para darme cuenta que los sueños son realizables, la que siempre estará a mi lado, la que nunca se cansará de salvarme, la que nunca me abandonará a la deriva, mi guía. Gracias por haberme dado el honor de ser tu hijo y por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa. Te amo.

Mauricio, mi hermano, gracias por tu presencia, por las risas, por las lágrimas, por los juegos, por los golpes y por las reconciliaciones, por tu sencillez, por la música, por ser mi amigo y por todo lo que hemos compartido durante nuestras vidas. Gracias por hacerme ver que todo tiene sus momentos y sus razones, gracias por enseñarme que la vida es mejor si estas a mi lado. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Hugo César Gervacio, Carlos Alberto y Sergio Domínguez, Julio César Laurel, Anselmo Flores, Roberto Molero, Martín Zúñiga, Abel Pérez, Ernesto Chávez, y Héctor Valderrama por ser mis mejores amigos, y que por azares del destino no fuimos hermanos de vientre, pero como si lo fuéramos, porque por ahí dicen que los amigos son los hermanos que uno escoge. Gracias por haberme regalado las épocas más bellas de mi vida y por el apoyo que me han brindado, cada uno a su estilo, a su forma. Sin ustedes la vida sería algo muy aburrido y tedioso. Gracias por los abrazos, por haber sido paño de lágrimas tantas veces, por los regaños, por escuchar y por opinar, por darme fortaleza cuando la he necesitado, por las carcajadas, por compartir su vida conmigo, por todo ... gracias.

A Karla Estrada, María José San Martín, Tammara Peraza, Ana Lilia Méndez, Cristina Martínez, Gisela Castellanos y Mónica Daniela Zamora por ser mis mejores amigas, por su belleza y su apoyo, por tantas películas y miles de cafés, por haberme incluido en alguna etapa de sus vidas. Gracias por enseñarme a disfrutar el camino antes de llegar a la meta.

A Sergio Domínguez y Verónica Reyna, por haberme enseñado el valor del trabajo, por haber forjado en mí el carácter y por haberme mostrado que lo que se gana con esfuerzo y dedicación es lo más digno de este mundo. Gracias por su amistad incondicional y por haber abierto frente a mí las puertas de un mundo nuevo que yo no conocía.

A mis abuelitos que adoro Memo[†] y Angelita, Quique y Lolita, por haberme consentido tantas veces y por quererme tanto. Ustedes están resumidos en mí.

A todos mis tíos y tías: Polo y Chayito, Elma, Lali, Geli, Willi, Juan y Tencha, Lulú, Enrique y Yola, Jaime y Luzma y Ale, por tantas navidades, años nuevos, reuniones, parrilladas, viajes, despedidas, bautizos y bodas. Gracias por ser mi familia.

A la raza de primos: Circe y Paco, Samanta, Alex, Gabo, Vero, Rodol, Lala, Leni, Urban, Eli, Bety, Yutzil, Osvaldo, Mayra, Tere, Enriquillo, Lila, Luzmi, Alejandrino y Albertito. Gracias por darme el gusto de ser uno de ustedes. A mis sobrinitos Nicolás, Ana Paula, Norma y Sofi, por haberme hecho tío tan joven (¿ni tanto verdad?). Espero que lleguen más a la lista.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa durante más de 8 años, por ser tan grandiosa, por haberme dado el conocimiento, que es la herramienta más fuerte para esculpir la libertad. Gracias por cultivar en mí el amor a la patria, a la razón, a la conciencia, por enseñarme el significado de la humildad, el respeto y la justicia. No dejarás de ser semillero de mujeres y hombres de bien, no dejarás de ser la patria chiquita de todos nosotros, tus hijos, por siempre espejo de nuestra nación, por siempre crisol de ideas. Nunca te olvidaré, no te abandonaré jamás.

¡Alfalfas, cacas y vacas, alfalfas, cacas y vacas, arriba la Facultad de Coapa!

¡Vino, mujeres y orgía, vino, mujeres y orgía, arriba la Facultad de Ingeniería!

¡Goya, goya, cachún cachún ra ra cachún cachún ra ra, goya Universidad!

Agradezco también a los profesores que me enseñaron tantas cosas que jamás dejaré ir, gracias por las ecuaciones y teoremas, pero sobre todo gracias por haber inculcado en mí la responsabilidad, la constancia, la dedicación y el trabajo en equipo, por ser más que un maestro, por ser héroes anónimos, por hacer de México una gran nación: Dr. Moisés Berezowsky, Dr. Jesús Gracia, M. en I. Víctor Franco, Ing. Guillermo Mancilla, M. en I. Joaquín Gutiérrez Rebuelta, Ing. Enrique César Valdés, Ing. Carlos Crail, Ing. Alba Vázquez, y todos los que me acompañaron durante mi carrera, a los que me tronaron y a los que me pasaron, gracias.

Agradezco con un matiz especial a mi tierra, la que me alimenta, la que me llena de color los ojos a diario, la que respiro a bocanadas, la que me alienta cada mañana a seguir adelante. Gracias México por ser mi cuna, por darme la dicha de ser parte de tu raza, de tu gente. Por ti he de luchar, no te defraudaré.

IMPORTANCIA DE LAS PRESAS DERIVADORAS EN EL SECTOR HIDRÁULICO DEL PAÍS

ANTECEDENTES	1
INTRODUCCIÓN	4
I. PRESAS DERIVADORAS EN MÉXICO	
I.1 GENERALIDADES	7
I.2 DISTRIBUCIÓN	10
I.3 EL CASO DEL BAJÍO MEXICANO	10
I.4 MÉXICO Y SU PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	13
II. ASPECTOS HIDRÁULICOS	
II.1 DEFINICIÓN Y CONCEPTOS PRELIMINARES	15
II.2 HIDRÁULICA DE LAS PRESAS DERIVADORAS	20
II.3 DISPONIBILIDAD SUPERFICIAL	38
II.4 DISPONIBILIDAD EN UN SISTEMA DE CUENCAS	41
II.5 NOTA SOBRE LOS CAUDALES AMBIENTALES.....	45
II.6 SISTEMA DE ANÁLISIS DE EXCEDENTES PARA DERIVACIÓN	47
III. ASPECTOS ESTRUCTURALES	
III.1 TIPOS DE PRESAS DERIVADORAS POR SU ESTRUCTURA	51
III.2 PRESAS DE ENROCAMIENTO O TIPO INDIO	57
III.3 SISTEMA RUBBER DAM	67
IV. ASPECTOS ECONÓMICO - SOCIALES	71
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83

ANTECEDENTES

En muchas ocasiones hemos escuchado frases tan románticas como: "el agua es fuente de vida", solo por mencionar una de ellas; y a pesar de ser tan concreta encierra un hecho ineludible: el agua es la base fundamental para el sostenimiento de la vida en nuestro planeta. Todos los seres vivos requieren de ella para su subsistencia; es más, todos sin excepción están constituidos entre un 65 y 95 % por agua. El ser humano tiene aproximadamente un 75 % de agua en su cuerpo. Además de que el agua está presente en los organismos es también un medio en donde se desarrollan ecosistemas completos.

El agua siempre ha sido un recurso indispensable para la supervivencia del hombre. Basta con mirar hacia atrás en la historia de las comunidades para darnos cuenta de su importancia. El manejo y uso de este recurso siempre ha sido un rubro muy importante dentro de la organización de las comunidades. Los usos del agua son múltiples; la agricultura depende de ella, el consumo directo para beber, la higiene personal, la generación de energía, el uso industrial y hasta la recreación. Es un hecho que el agua es un recurso que siempre ha estado presente en la evolución y vida del hombre, lo que comprueba nuestra inevitable dependencia de ella.

Desde la antigüedad, el hombre ha manejado el agua, conduciéndola por canales, almacenándola en presas o desviándola con diques. Todo para tener un acceso más fácil a ella; el objetivo ha sido llevar el agua a la comunidad, condición necesaria para la vida sedentaria. Además, el manejo del agua también incluye la protección de las comunidades de posibles daños que ésta pueda ocasionar, tal es el caso de inundaciones por desbordamientos de ríos, marejadas, etc.

Se pueden mencionar muchos casos de uso del agua y su manejo alrededor del mundo, pero el que se tratará es el caso de México. Un ejemplo típico de buen uso y aprovechamiento del recurso hídrico es el de la civilización Azteca. Existían chinampas, sistemas muy avanzados y tecnificados de siembra de hortalizas a base de enramadas en la superficie del agua, utilizando como suelo los lodos del fondo del lago. Otro ejemplo típico es el del tajo de Nochistongo, planeado como obra de desalojo de aguas del valle de México.

Se tienen registros del manejo del agua en la época virreinal; de hecho, el derecho del Estado Mexicano a repartir el agua y la tierra tiene su fundamento en la legislación hispánica y en la experiencia de su ejercicio durante trescientos años de dominación española. En la época virreinal, mientras que la tierra se concedió y legalizó como propiedad vendible y afectable, el agua fue considerada de uso común, y los funcionarios del Estado la distribuyeron a los particulares y a las comunidades mediante concesiones temporales para su aprovechamiento. En el México nacional el gobierno reconoció la propiedad privada de la tierra legalizada por la Corona española. Actualmente el Estado ha conservado el derecho sobre el agua tal como fue durante el Virreinato (ref. 1).

La distribución temporal del agua para fines agrícolas y domésticos, y su uso como fuerza motriz, ha dado lugar a lo largo de la historia a numerosos y complejos procesos administrativos, fiscales y jurídicos en los que se han visto involucrados individuos y colectividades, así como instituciones públicas locales, regionales y nacionales.

El Estado, obligado a velar por el bien común, ha elaborado a lo largo del tiempo un *corpus* jurídico para regular la distribución del líquido y ha fungido como árbitro entre los individuos y las comunidades necesitadas de éste para sus prácticas agrarias, motrices e industriales y para uso doméstico. En numerosas

ocasiones, la demanda de agua por empresas particulares, se ha opuesto al reclamo de su utilización por las comunidades.

La unidad básica de los sistemas hidráulicos coloniales era la comunidad de regantes, es decir, un grupo de propietarios o usufructuarios de agua que hacía uso del líquido derivándolo de un canal o acequia principal. Durante ese tiempo se fueron desarrollando dos tipos de asociaciones de riego: la organización pública y la privada. La pertenencia y funcionamiento de una u otra organización estaba determinada por el tipo de inversión que había permitido la construcción de la acequia madre. Si ésta había sido construida a iniciativa de las autoridades locales y era considerada como propiedad pública, entonces la administración (entendida como el reparto, cobro de derechos, vigilancia, resolución de conflictos y mantenimiento) recaía principalmente en el gobierno municipal. Si por el contrario la obra era de propiedad particular, entonces la comunidad de regantes dependían más de un acuerdo mutuo de colaboración (ref. 2 y 3).

Por otra parte, es necesario aclarar que desde la época colonial y hasta el inicio del siglo XX, el manejo del agua estuvo determinado por las necesidades de la hacienda. Con la llegada de la Revolución y el inicio del reparto agrario, el control sobre la tierra y el agua ejercido por la hacienda dejó de existir.

En todo lo anterior las presas derivadoras han tenido una intervención muy importante funcionando como estructuras básicas para hacer disponible el agua en el sitio y momento oportunos. Actualmente la Ley de Aguas Nacionales (LAN) es la que marca los elementos para concesionar el agua que se quiera derivar de una corriente. Esto puede verse en el Título Cuarto: Derechos de Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales, en los Capítulos I, II y III, así como en el Título Sexto: Usos del Agua, en el Capítulo II. De lo anterior surge el REPDA, Registro Público de Derechos de Agua.

INTRODUCCIÓN

El manejo del agua denota un poder muy grande sobre las comunidades. Quien controle el agua controla en gran medida a una comunidad que inevitablemente no puede subsistir sin este recurso.

En el México de hoy, el agua cada vez es más escasa, tanto para uso agrícola como para distribuirla en las ciudades. Se ha perdido en gran medida el uso moderado del recurso, a grado tal que en algunas localidades el agua prácticamente ha desaparecido. El problema de escasez del agua puede ser el resultado histórico de un manejo inadecuado del recurso.

Es importante notar que, a pesar de las apariencias, el agua no es un recurso abundante en nuestro país. Como se verá mas adelante, la distribución del agua en el territorio nacional no es equitativa, debido a su situación geográfica. Las zonas agrícolas del norte de la República son castigadas con sequías que pueden durar varios años, lo que invariablemente afecta la producción regional y nacional de alimentos. En estos casos es necesaria la intervención del ingeniero hidráulico para poder dotar de agua suficiente a estas zonas y sus comunidades.

Las limitaciones en la magnitud del recurso hidráulico están actualmente ocasionando una fuerte competencia por él, además de la escasez inducida por problemas de calidad que impide algunos usos. Las derivaciones en las corrientes pueden participar de manera importante en subsanar los requerimientos hídricos de diferentes usuarios, aunque la variabilidad estacional e interanual del escurrimiento dificulta el aprovechamiento del agua en corrientes no reguladas, a lo que se agregan los caudales comprometidos para diferentes usuarios.

En el presente trabajo se discute la importancia de las **presas derivadoras** en el uso del agua en México, conociendo su participación en el desarrollo nacional, sus características estructurarles, las ventajas y desventajas que representan, así como los aspectos técnicos que por ende acompañan a tales obras.

Desde un punto de vista **hidrológico**, los volúmenes que se pueden concesionar o asignar por derivaciones requieren de evaluaciones en cada punto de la corriente de la que se pretenda derivar, considerando el aporte aguas arriba y las demandas y volúmenes comprometidos y requeridos aguas abajo en un momento o época en particular. Las características del escurrimiento es determinante en la dificultad, o facilidad, para las derivaciones. Lo anterior se discute mas ampliamente en el Capítulo II.

Desde el punto de vista **estructural**, las derivadoras son de muy diferente naturaleza, desde las construcciones formales para derivar grandes volúmenes de agua en distritos de riego, hasta pequeñas, del orden de l/s, de tipo artesanal, para irrigar pequeñas superficies, para abrevadero, o usos menores en localidades rurales. Esto se puede ver mas claramente en el Capítulo III.

En el aspecto **social**, las grandes derivadoras cubren los requerimientos de proyectos agrícolas de grandes dimensiones, que tienen una compleja organización de los usuarios, requerida por la Ley de Aguas Nacionales. Son también muy frecuentes las pequeñas extracciones a través de derivadoras, con organización en ocasiones compleja, aunque generalmente de más fácil manejo social, debido a la pequeña cantidad de usuarios; es sumamente frecuente en estos casos los conflictos en pequeñas comunidades cuando el agua es escasa, o bien, por la extracción indiscriminada en pequeñas corrientes que origina problemas con los usuarios aguas abajo.

El objetivo de este trabajo es el de discutir los aspectos hidráulicos e hidrológicos, estructurales y sociales que intervienen en la planeación, operación y estudio de las estructuras de derivación en México, así como algunos métodos para conocer o estimar los volúmenes derivables en una corriente.

Además, se realiza una clasificación de presas derivadoras de acuerdo con sus dimensiones y características estructurales basada en distintos criterios. Por otro lado, se estudian las características hidrológicas en relación con el óptimo funcionamiento de las presas derivadoras de diferente tipo. Finalmente, se mencionan las características económico - sociales que influyen en la construcción y manejo de las derivadoras, considerando aspectos institucionales y legales para la concesión y asignación de agua por derivación.

I. PRESAS DERIVADORAS EN MÉXICO

I.1 GENERALIDADES

Es bien sabido que en México existen grandes desequilibrios respecto a la localización y distribución del agua, sea cual fuere el uso que se le pretenda dar. Debido a su situación geográfica, el territorio nacional presenta de manera natural áreas con una distribución variable del agua. Las zonas del norte son por naturaleza semiáridas, hecho que se aúna al problema de distribución. En estados de la República como Sonora, Chihuahua y Nuevo León las lluvias no superan los 500 mm promedio al año y sus corrientes no son suficientes para la demanda de uso doméstico e industrial. Un caso extremo es el estado de Baja California Sur, que apenas alcanza 178 mm de precipitación media anual. Por el contrario, se tiene el caso de Chiapas, Oaxaca y Tabasco que cuentan con lluvias abundantes en la mayor parte del año (ref. 4).

Dado el contraste hidrológico mencionado, es fundamental promover proyectos en donde se pretenda optimizar el uso del agua. Las sequías son comunes y forman parte de la vida cotidiana de los habitantes de las zonas rurales dedicados a las actividades agropecuarias. Los problemas de insuficiencia de lluvias acumulan cinco años consecutivos en el año 2000, con una afectación particular en los estados del norte y centro de la República, que se caracterizan por ser desérticos o semidesérticos: Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes. Los daños no se centran sólo en la producción agropecuaria; su afectación es sobre todo en las condiciones de vida de la población. Según un análisis de la Confederación Nacional Campesina (CNC) --"La sequía en México"--, la insuficiente lluvia se materializa en conflictos sociales: pérdidas de cosecha para el autoconsumo, enfermedades infecciosas, desnutrición, desempleo, emigración,

hambre e inconformidades sociales. "Los hombres y las mujeres en edad de trabajar emigran en busca del sustento. Los conglomerados sociales se transforman en pueblos fantasmas habitados por ancianos y niños. La estructura social rural, conformada por el binomio familia-núcleo agrario, sufre daños irreparables. Las asambleas no completan el número mínimo para sesionar, los niños abandonan la escuela para atender responsabilidades de los adultos ausentes y el atraso encuentra los medios para entronizarse", afirma la CNC. Explica que la sequía es un hecho cotidiano en las zonas áridas y semiáridas, que ocupan más del 50 por ciento del territorio nacional. La lluvia en estas regiones "es poco frecuente y cuando cae lo hace con una intensidad tal que favorece el escurrimiento y no su infiltración", provocando así adicionalmente daños de erosión en los suelos.

Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagar), en estas zonas se siembran alrededor de 5.7 millones de hectáreas anualmente, pero 25 por ciento está en riesgo de alta siniestralidad. Hay casos extremos: por ejemplo, en Zacatecas se siembran anualmente 700 mil hectáreas de frijol, y de esas 250 mil tienen un alto grado de siniestralidad. La propia dependencia establece que en los últimos años las precipitaciones pluviales que recibe el país son cada vez menores. En 1985-89 el promedio anual de precipitación de lluvia en el país fue de 733 mm; en 1990-94 rebasó los 810, y para 1995-2000 sumó sólo 722. De esta forma el quinquenio 1995-99 "ha sido el segundo más seco desde 1945. El 70 por ciento de los meses (42) de este periodo registró precipitaciones por debajo de su media histórica, incluyendo épocas particularmente críticas, como el periodo junio 1997 a junio de 1998, derivada del fenómeno El Niño, el cual fue el más intenso de las últimas cuatro décadas", dice el documento de "Acciones de prevención contra la sequía" de la SAGAR.

Técnicamente el término de sequía corresponde al fenómeno de escasas lluvias durante el verano, que es donde se concentra la mayor parte de las

precipitaciones. Tradicionalmente, de noviembre a mayo se tiene un periodo de estiaje, donde sólo cae el 23 por ciento de las lluvias del año. De junio a octubre cae el 77 por ciento restante (ref. 4).

Las presas derivadoras son estructuras hidráulicas de suma importancia en México, ya que representan un modo de distribución y manejo de agua para riego. En la mayoría de los casos, las presas derivadoras funcionan como estructuras que desvían parte de una corriente, con el fin de hacer llegar el agua hasta las zonas donde se requiera.

Cabe señalar que las presas derivadoras pueden funcionar en cauces constantes y someros o intermitentes, aunque el caso ideal que se busca al planear una estructura de este tipo es en el que la corriente tenga una tendencia de gasto constante, o por lo menos, que cumpla con los requerimientos de gasto mínimo de operación de dicha presa.

El tipo de presa derivadora más utilizado en México es el de tierra y enrocamiento, comúnmente llamado "Tipo Indio", cuyo origen se remonta a las construcciones rudimentarias para derivación, formadas por simples promontorios de troncos con tierra y roca. La técnica para construir este tipo de estructuras se ha desarrollado por experiencia a través del tiempo (ref. 5).

El uso tan frecuente de este tipo de presa derivadora en nuestro país se debe a que es de construcción rápida, fácil y de bajo costo. La mayoría de las ocasiones el uso de estas estructuras es el de derivar corrientes torrenciales, por lo que es común que sufran daños importantes durante su funcionamiento, pero gracias a las propiedades antes mencionadas, la reparación parcial o reconstrucción de estas estructuras sigue siendo una opción económica y técnicamente viable.

En los capítulos siguientes se explicará la forma y estructura de las presas derivadoras más detalladamente. Iniciaremos clasificándolas por sus tipos y formas, así como describiendo algunos casos particulares en nuestro país.

I.2 DISTRIBUCIÓN

México cuenta con más de 900 presas derivadoras. En su mayoría, el objetivo de estas obras es el de obtener agua para riego.

Actualmente no se tiene un censo exacto del número total de presas derivadoras; esto se debe a que muchas de ellas son removidas fácilmente por las corrientes al haber avenidas máximas en las temporadas de lluvias. Las estructuras de tipo artesanal son las que más comúnmente resultan afectadas.

La última recopilación de datos que se tiene en el ámbito de las presas derivadoras en México se hizo a finales de 1977 y se reportan en la ref. 6. En este libro se hace una lista de todas las presas derivadoras construidas hasta ese año, incluyendo el nombre de la presa, año de terminación, localización, estado al que pertenece, corriente derivada, características de la cortina, el vertedor y la obra de toma, así como la superficie beneficiada y el constructor responsable de la obra.

I.3 EL CASO DEL BAJÍO MEXICANO (caso particular)

En el Bajío mexicano existen una gran cantidad de estructuras hidráulicas ideadas y construidas desde tiempos novohispanos. Estas pequeñas obras hidráulicas tenían como objetivo, tal como lo es en la actualidad, el elevar los niveles de los ríos para lograr una derivación hacia zonas de cultivo. El agua en esta región no es del todo abundante, pero el manejo cuidadoso del recurso ha permitido aprovechar la fertilidad de las tierras que la conforman.

Lo anterior no significa que el uso de estructuras para derivación sea exclusivo en zonas donde el recurso hídrico sea escaso, esto es, las presas derivadoras así como cualquier sistema para derivación son necesarias y pueden utilizarse aunque el agua sea abundante. Cabe señalar que el manejo óptimo de las derivaciones hace al sistema eficiente y por consecuencia que cumpla con los objetivos para los cuales fue diseñado.

Normalmente cuando se piensa en una derivación se le relaciona con el ámbito agrario. La gran mayoría de las estructuras para derivar corrientes son el inicio de un sistema de irrigación para las zonas de cultivo aledañas. Los sistemas de irrigación que utilizan el agua superficial como fuente se apoyan en las obras de derivación para obtener el agua a regar.

Un caso que ejemplifica el uso de estas estructuras es el del valle de Celaya. Éste es un valle sin accidentes topográficos que modifiquen el aspecto plano y uniforme de la superficie del terreno, con desagüe superficial mediano y con pendiente general hacia el oeste y menor de 2.5%. En su parte oriental este valle es una prolongación del de Querétaro; hacia el occidente se proyecta sobre el valle de Irapuato. Al norte lo limitan las sierras de Codornices y de la Media Luna y al sur las de Apaseo y de los Agustinos.

La temperatura media que se registra en el valle es de 20°C, la que no varía considerablemente a lo largo del año. Un dato muy importante es que la precipitación pluvial está entre los 489 mm y los 800 mm anuales, concentrándose en la estación estival que comienza normalmente en julio y termina en septiembre; sin embargo, la distribución y la cantidad de lluvias en el valle es muy variable.

Las aguas superficiales utilizadas para el riego en el valle de Celaya se han derivado de los ríos Lerma y Laja. Los agricultores del valle, desde la época colonial hasta la primera mitad del siglo XX, emplearon dos clases de recursos hídricos o fuentes para el riego de sus tierras:

- a) Las aguas superficiales obtenidas mediante la derivación de corrientes fluviales
- b) El producto de las lluvias que se acumulaban localmente en pequeñas presas y se derivaban hacia las cajas de agua .

También se explotaron las aguas subterráneas derivadas de pozos y manantiales mediante la utilización de equipos de bombeo.

El riego con aguas derivadas, almacenadas o del subsuelo significó problemas y soluciones técnicas y diferentes grados de inversión de capital. Los sistemas hidráulicos formados por una derivación directa del río se constituían fundamentalmente de un tajo o saca abierto en el cauce, un canal o acequia principal en donde se surtían los distintos usuarios, canales secundarios y, en algunas ocasiones, de cajas de agua, estructuras que más adelante se explicarán con detalle.

Las acequias conducían las aguas hasta las propiedades individuales o comunitarias y de ahí se distribuían por canales secundarios entre los campos de cultivo o a las cajas de agua. La entrada de los tajos o sacas estaban protegidas de la fuerza de las corrientes torrenciales por obras de mampostería. En este caso, el grueso de la inversión de capital lo constituía la excavación de canales y los muros de contención de las cajas.

Regar con aguas almacenadas requería de elementos materiales adicionales a los ya mencionados. En primer lugar, fue necesario invertir en la

construcción de presas de cal y canto lo suficientemente grandes y fuertes como para contener las avenidas anuales y elevar las aguas a una altura conveniente. También fue necesario diseñar mecanismos que facilitaran el desazolve de las presas, o que facilitaran la conducción del agua hacia los campos de cultivo. Adosadas a las presas y formando parte estructural de las mismas estaban los canales derivadores que conducían las aguas almacenadas y que podían ser de uso común o individual.

De las acequias se desprenden los canales secundarios que conducen las aguas hasta los elementos finales de los sistemas: las cajas de agua que por la técnica y materiales empleados en su construcción, también requieren de una fuerte inversión de capital.

I.4 MÉXICO Y SU PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

México cuenta con una superficie de 21 millones de hectáreas con uso agrícola; de ellas 6.1 poseen riego y las restantes son de temporal. En los Distritos de riego se concentra el 54 por ciento (3.3 millones de hectáreas) de la superficie irrigada del país. El 50 por ciento de la producción agrícola nacional proviene de sistemas de riego. El volumen de agua utilizada por el sector agrícola asciende a 60 mil millones de m³/año, que representa el 83 % del total nacional extraído.

El sector agropecuario representa el 7 % del PIB y de él dependen alrededor de 30 millones de personas; la agricultura presenta perspectivas halagueñas si se preservan los desarrollos existentes y se incide eficiente y ordenadamente en el aprovechamiento del suelo y de los recursos asociados, además de establecer algunos instrumentos económicos que lo promuevan.

Los planteamientos básicos del sector hidráulico se encaminan a lograr el uso pleno de la infraestructura e incrementar la eficiencia en el uso del agua con base en programas de rehabilitación, modernización y mejoramiento de la infraestructura, además de procurar la conservación de los recursos, mejores esquemas organizativos, uso eficiente de la energía y el establecimiento de esquemas de financiamiento en los que se promueva la participación de la sociedad. En el sector agrícola, esto está representado por la transferencia de los Distritos de Riego, que se apoya sobre bases organizativas y legales que dan seguridad en el usufructo del agua y el suelo.

Como ya se ha visto, la irrigación es la infraestructura mediante la cual se hace el suministro de agua a las tierras de cultivo. México ocupa el 6° lugar mundial por su infraestructura de riego; todo ello para regar 6.2 millones de hectáreas; de las cuales 2.6 millones de hectáreas están a cargo de la Comisión Nacional del Agua, mientras que el resto son regadas principalmente por las Unidades de Riego.

En la siguiente tabla se puede observar el comportamiento de los distritos de riego de 1967 a 1997:

Año Agrícola	Sup. regada (Ha)	Año Agrícola	Sup. Regada (Ha)
1967-68	2,075,510	1982-83	2,819,772
1968-69	2,233,562	1983-84	3,092,781
1969-70	2,174,125	1984-85	3,293,866
1970-71	2,130,595	1985-86	3,268,113
1971-72	2,287,792	1986-87	3,236,353
1972-73	2,406,538	1987-88	2,744,462
1973-74	2,710,852	1988-89	3,209,600
1974-75	2,607,037	1989-90	2,988,028
1975-76	2,576,184	1990-91	3,053,429
1976-77	2,597,115	1991-92	2,711,340
1977-78	2,645,773	1992-93	2,940,062
1978-79	2,876,496	1993-94	3,043,582
1979-80	2,817,381	1994-95	2,739,095
1980-81	2,898,312	1995-96	2,668,867
1981-82	3,175,582	1996-97	2,827,981

II. ASPECTOS HIDRÁULICOS

II.1 DEFINICIÓN Y CONCEPTOS PRELIMINARES

Se define como presa derivadora a una estructura que obstruye el paso de una corriente con el objeto de elevar el nivel del agua hasta alcanzar una altura suficiente para desviar parte del flujo proveniente del cauce y conducirlo hacia el lugar en donde será aprovechada (refs. 5 y 7). Estas estructuras se utilizan cuando las necesidades de agua no son tales que se tenga que provocar un embalse para almacenamiento, es decir, cuando el requerimiento de agua es menor que el gasto mínimo de la corriente.

Se ha observado que las presas derivadoras son considerablemente menores en dimensiones que cualquier presa de almacenamiento, lo que las hace una opción más económica para el manejo del agua. A diferencia de aquellas, sin embargo, están sujetas a los cambios del escurrimiento.

El riego agrícola es una de las actividades en donde se requiere agua constantemente, y las presas derivadoras juegan un papel fundamental en el uso del recurso. Actualmente, las presas de almacenamiento tienen problemas para abastecer de agua suficiente a las zonas de riego debido a la escasez del recurso, aspecto en el que las derivadoras pueden contribuir de manera importante al aprovechar pequeños gastos y escurrimientos erráticos. Lo anterior apoya la construcción de pequeñas obras que otorguen agua a los usuarios de forma más constante.

Partes que constituyen las presas derivadoras

Las presas derivadoras están formadas, en su mayoría, por las siguientes estructuras:

- a) cortina
- b) obra de toma
- c) estructura de limpia
- d) obras complementarias.

Clasificación de las presas derivadoras

Para que se pueda derivar un gasto determinado por la obra de toma es necesario sobre elevar el nivel del agua; esto se logra con la construcción de una presa que provoca un remanso hasta alcanzar el nivel requerido para que el agua sea conducida por gravedad. Generalmente, estas estructuras se diseñan para que el flujo de la corriente vierta sobre ellas, ya sea de forma parcial o total.

A continuación se describen varios criterios utilizados en la clasificación de las presas derivadoras (Tabla 1):

Tabla 1. Tipos de presas derivadoras según distintos criterios

Criterio	Tipo de presa
Por su eje en planta	Rectas
	Curvas
Por el tipo de materiales	Sueltos
	Cementados
	Mixtas
Por el control en su cresta	Cresta fija o sin control
	Cresta móvil o controlada

Por su eje en planta

Normalmente el eje de la presa tiende a ser recto y perpendicular a la corriente, pero debido a la topografía o geología del cauce, se puede optar por construir presas con ejes curvos o mixtos. (Fig II.1)

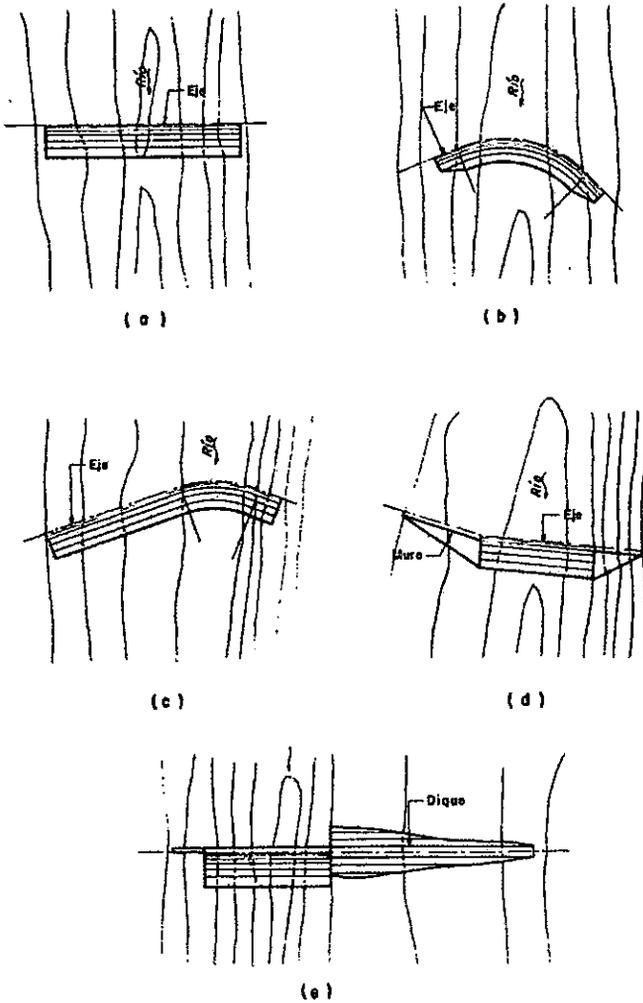


Fig. II.1 Tipos de presas derivadoras por su eje en planta

Por el tipo de materiales

El tipo de material se define según las necesidades estructurales, económicas y de operación.

Los tipos de materiales son:

Sueltos: son materiales naturales que se colocan de forma tal que permita aprovechar en lo posible sus características físicas. Las estructuras deben de adaptarse a las deformaciones naturales plásticas de esos elementos. La estructura más común hecha con estos materiales es la llamada presa "tipo indio", formada por un muro impermeable y enrocamiento.

Cementados: materiales que constituyen las presas rígidas. Son materiales pétreos unidos por algún cementante. Las más comunes son las presas construidas con mampostería de piedra junteada y las de concreto hidráulico.

Mixtas: se constituyen tanto de materiales sueltos como de elementos cementados.

Por control de su cresta.

En algunas ocasiones, por las características propias de la derivación, se producen pequeños almacenamientos. Aunque el objetivo de estas estructuras no es el almacenamiento de agua, los volúmenes que se retienen pueden ser aprovechados, y aún incrementarlo con la instalación de compuertas o agujas en la cresta. Así, se puede controlar el almacenamiento y el paso de las excedencias. Se tiene entonces dos tipos de estructuras: las de cresta sin control y las de cresta móvil o controlada. (Fig. 11.2).

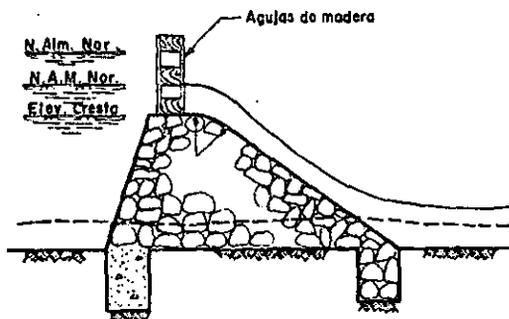
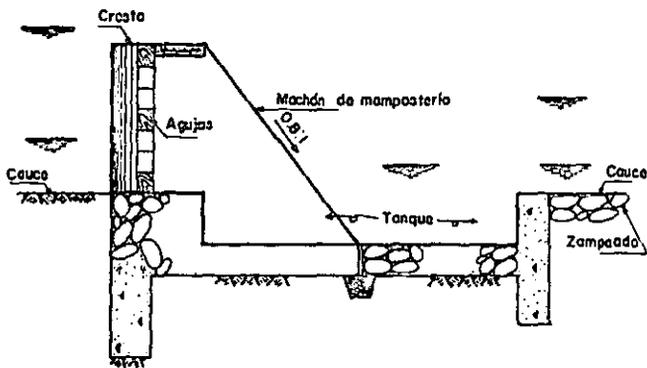
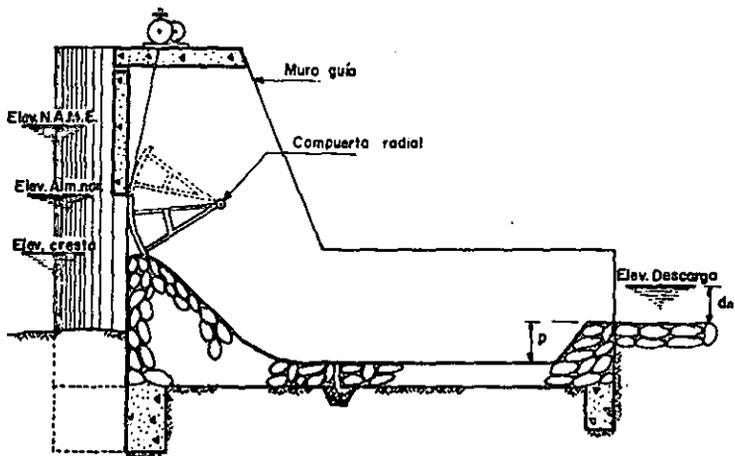


Fig. II.2 Presas derivadoras de cresta móvil

II.2 HIDRÁULICA DE LAS PRESAS DERIVADORAS

Elevación de la cresta vertedora

La elevación de la cresta vertedora dependerá de la carga hidráulica necesaria para operar la obra de toma.

A continuación se muestra un esquema de la disposición típica de una obra de derivación, incluyendo las estructuras que la componen, tales como la presa, obra de toma, compuerta y canal desarenador (ref. 7).

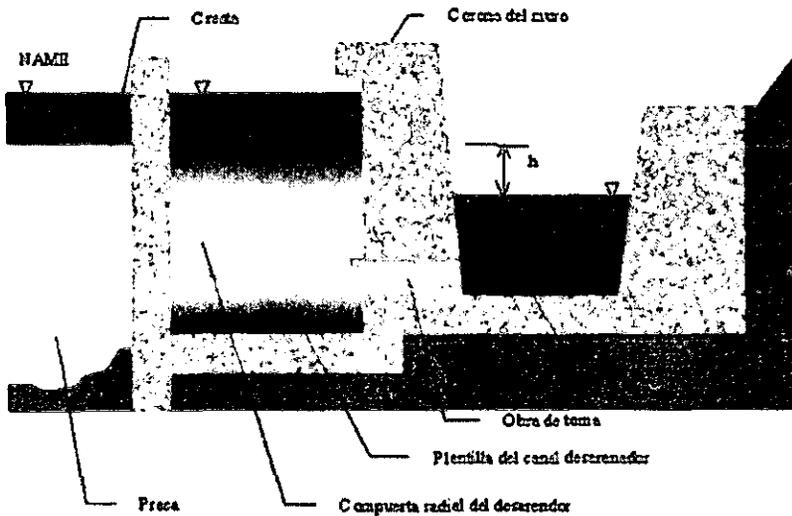


Fig II.3 Disposición típica de una obra de derivación.

De la figura anterior se puede deducir que la elevación de la cresta C es igual a la elevación de la planta del canal P, más el tirante d , más la carga hidráulica del orificio de la toma h . Se puede expresar como:

$$\text{Elev C} = \text{Elev P} + d + h$$

El tirante d es el que se tiene en el canal de salida. Este tirante es de suma importancia ya que de él depende en gran medida el diseño de toda la obra. Este tirante es un dato que es deriva de los requerimientos de gasto que se dan por parte del sistema de riego al cuál se le abastecerá de agua.

La elevación de la plantilla del canal principal está determinada generalmente por la topografía del lugar. Aunque existen una serie de factores que deben considerarse para fijar la elevación de la plantilla como son la elevación de los terrenos que se van a regar, las pérdidas de carga por fricción así como las locales, es decir, las cargas necesarias para el funcionamiento de estructuras como sifones, caídas, puentes canal, etcétera.

En forma general se puede establecer:

$$\text{Elev P} = \text{Elev Z.R.} + \Delta c + \Sigma h$$

donde:

- Elev Z.R. = elevación de la rasante del canal en el inicio de la zona de riego.
- Δc = desnivel que requiere el canal, según la pendiente o pendientes y la longitud o longitudes de los mismos.
- Σh = suma de pérdidas de energía necesarias para el funcionamiento de las estructuras de operación y de cruce en el trayecto.

Como se observa en la ecuación anterior, es necesario conocer previamente el trazo del canal principal que liga a la toma con la superficie regada, así como las estructuras que se utilizarán.

Una estructura de suma importancia y de la cual se explicara en forma mas detallada más adelante es la obra de toma. Ésta debe ubicarse preferentemente al nivel de la plantilla del canal de salida. Pueden proponerse otras disposiciones según lo requiera el proyecto, pero la forma típica asegura una carga constante, ya que lo que se busca preferencialmente es que el tubo de la obra de toma trabaje a presión, es decir, a tubo lleno. Tal es el caso de las presas de almacenamiento cuyas obras de toma están sumergidas por completo, aunque se deja cierta distancia entre el lecho del embalse y la toma con el fin de aminorar los efectos que puedan ocasionar los azolves acumulados. En el caso de las derivadoras, por sus dimensiones notablemente pequeñas a comparación de las presas de almacenamiento, es preferente tener un canal desarenador, también descrito más adelante.

Disipadores de energía

Al sobreelevar el agua en un río, lo que se está provocando es un incremento de energía potencial, que se transformará en energía cinética al derramarse el agua sobre la cortina vertedora; así puede decirse que este incremento de energía depende directamente de la altura de caída provocada por la presa.

Los daños que se presentan más comúnmente a causa del escurrimiento sobre la presa son la socavación y erosión al pie de las estructuras, lo que ocasiona que la estabilidad de éstas corra el riesgo de romperse.

Se puede ver de manera esquemática en la siguiente figura, la socavación del agua debida a la presencia de una velocidad alta al pie de la presa cimentada en un terreno poco resistente.

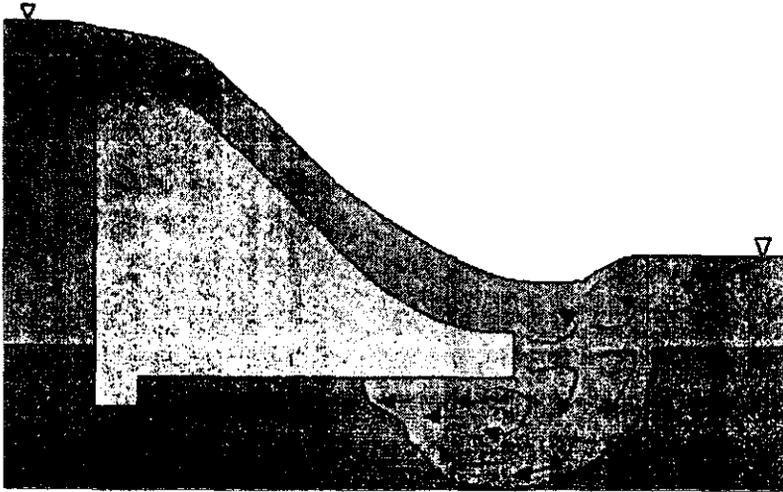


Fig II.4 Socavación al pie de una presa con cortina vertedora.

Fenómenos parecidos pueden presentarse también en otros elementos como son los muros de encauce.

Sin embargo no siempre se presentarán estos daños, tal es el caso cuando la caída es pequeña o el lecho del cauce es lo suficientemente resistente para amortiguar el golpe del agua. En las estructuras que corren el riesgo de presentar daños, pueden seguirse distintas medidas de protección. Estas medidas tenderán siempre a amortiguar o resistir la velocidad del agua, por ejemplo, con zampeados o revestimientos de corta longitud del muro vertedor, tal como se muestra en las figuras siguientes:

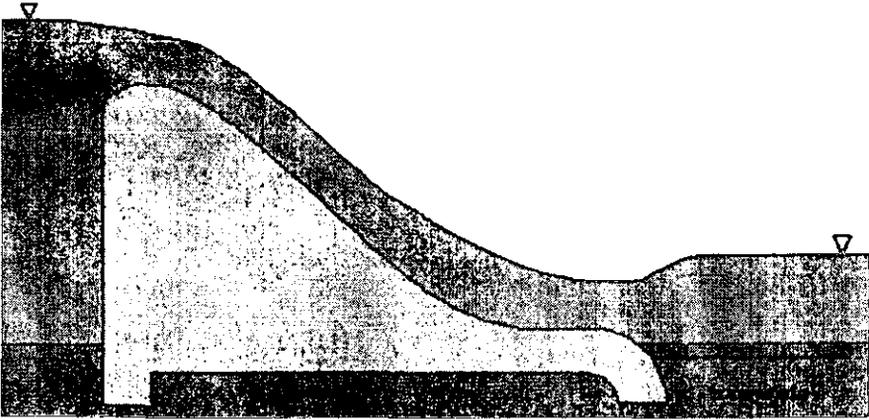


Fig II.5 Zampeado al pie de una presa para protección.

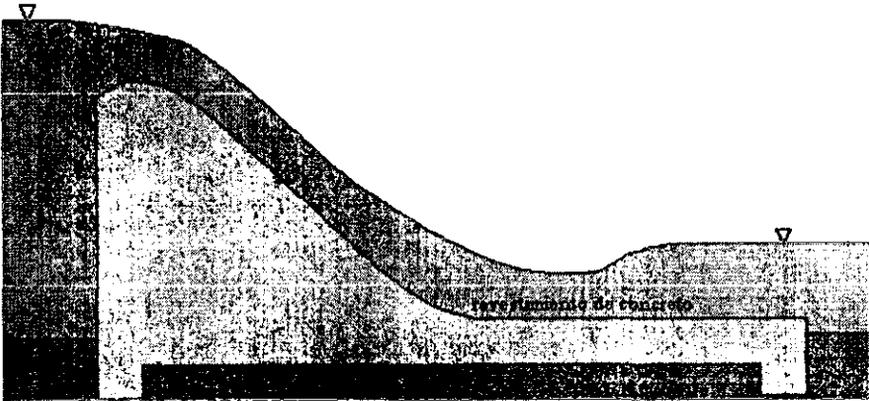


Fig II.6 Revestimiento de concreto al pie de una presa.

Otra forma de evitar la socavación y la erosión es por medio de la construcción de un dispositivo integrado a la presa, cuya función principal es disipar la energía cinética del agua y hacer que esta vuelva al cauce del río con velocidades permisibles que no ocasionen daños aguas abajo de la estructura. Existen varios tipos de amortiguadores cuyo diseño dependerá de las condiciones particulares de cada presa.

En general estos dispositivos, con muchas variantes, se pueden agrupar en:

- Tanques amortiguadores
- Estructuras deflectoras
- Estructuras de impacto

El diseño de estas estructuras considera muchos aspectos importantes y que deben de ser tomados en cuenta indudablemente para asegurar el funcionamiento de la obra, tal es el caso del salto hidráulico, el fenómeno de cavitación, etc.

El salto hidráulico es un fenómeno que ocurre en muchas estructuras destinadas a la conducción de agua a superficie libre, y se presenta cuando en el tramo en el que se produce una alteración brusca del perfil longitudinal de la superficie del agua. El salto hidráulico se caracteriza porque el flujo experimenta un cambio violento y en corta distancia de un régimen supercrítico a subcrítico. (ref. 8)

Los tanques amortiguadores son estructuras que protegen al canal en la zona donde se presenta el salto hidráulico. Este fenómeno altamente turbulento es capaz de producir daños al canal mientras se estabiliza el flujo.

El salto hidráulico puede aprovecharse como disipador de energía, obligándolo a que se presente en una zona destinada para ese fin para así obtener un flujo más manejable, ya que en muchas ocasiones se requiere disminuir drásticamente la velocidad del escurrimiento en zonas en que no importa que sea grande el tirante, pero sí conveniente el ahorrar en revestimiento al obtenerse velocidades no erosivas. Se observa entonces que el agua "salta" de la zona supercrítica a la subcrítica en medio de una gran turbulencia y, además,

de una fuerte disipación de energía, ya que dicho cambio se presenta en un tramo relativamente corto.

Las estructuras deflectoras y de impacto “frenan” al flujo obligándolo a cambiar de régimen, funcionando como obstáculos que impiden que el agua fluya libremente. Se conoce muchos tipos, como muretes, dentellones, espigones, etc. Para ver el diseño de estas obras se recomienda consultar el texto “Design of small dams”. En éste se presentan los distintos tipos de estructuras, su funcionamiento, así como su diseño hidráulico y geométrico.

Obras de toma

Para desviar el agua del río hacia los canales de riego se hacen orificios en el muro que divide al desarenador y las laderas del cauce, este orificio recibe el nombre de obra de toma. Además esta pared divisoria sirve como muro de contención en la ladera del río y evita el paso del agua hacia el canal en época de avenidas.

El gasto de extracción en la obra de toma se controla mediante compuertas generalmente deslizantes, operadas con mecanismos elevadores desde la corona del muro. Cuando el gasto es grande se pueden emplear compuertas radiales.

Para el aprovechamiento de aguas broncas, es decir, provenientes de rápidos o de cauces con pendientes altas mediante entarquinamiento o inundación, las obras de toma pueden dejarse sin un obstáculo. Cuando el aprovechamiento es pequeño se puede usar un sistema de agujas para cerrar la obra de toma.

Cálculo hidráulico de las obras de toma

El cálculo de las obras de toma de una obra de derivación comprende varios aspectos, tales como:

- a) Dimensionamiento del orificio y conductos
- b) Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas
- c) Determinación de la capacidad del mecanismo elevador
- d) Diseño de la transición que une la salida de la toma con el canal de riego

Dimensiones del orificio y del conducto

El análisis hidráulico consiste en considerar simplemente un orificio formado con un tubo corto sumergido. Puede suceder que la obra de toma sea una tubería forzada, en cuyo caso se consideran todas las pérdidas que se pueden tener en la conducción; si la toma se hace por un conducto trabajando como canal, es necesario determinar las características del régimen para dimensionar el conducto.

La ecuación general de un orificio es la siguiente:

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

donde:

Q = gasto de derivación en la toma, en m³/s

C_d = coeficiente de descarga para el orificio correspondiente

A = área del orificio, m²

g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²

h = carga sobre el centro del orificio, m

El coeficiente de descarga o coeficiente de gasto puede definirse con la siguiente expresión:

$$C_d = C_v C_c$$

donde C_v es un coeficiente sin dimensiones muy próximo a 1, de tipo experimental y que corrige el error que se produce en la ecuación $V = \sqrt{2gH}$ que define a la velocidad, así como la pérdida de energía Δh_f . El coeficiente C_c se determina experimentalmente mediante la relación del área contraída de la vena líquida con el área del orificio, es decir:

$$A_c = C_c A \Rightarrow C_c = \frac{A_c}{A} \quad (\text{ref. 9})$$

Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas

Este gasto se determinará en función de los requerimientos y de la seguridad del canal aguas abajo.

Determinación de la capacidad del mecanismo elevador

Puede hacerse con la ecuación siguiente:

$$\text{Cap Mec Elev} = KE + \text{peso compuerta} + \text{Peso vástago}$$

donde:

KE = fuerza de fricción que se produce en las guías de la compuerta originada por el empuje hidrostático (E), que actúa en la hoja de la compuerta. K es el coeficiente para valorar esa fricción cuyo valor puede considerarse igual a 0.35 para las compuertas de fierro fundido con asientos de fierro pulidos a máquina.

Diseño de la transición que une al conducto de la toma con el canal de riego

Con el objeto de disminuir las pérdidas por cambios de sección, evitar turbulencias y tener un régimen tranquilo en el enlace de la obra de toma y el canal de conducción, es recomendable diseñar una transición en este lugar.

Estructura de limpia

Para tener un control adecuado de la captación y derivación, es recomendable que se tengan velocidades bajas del agua; esto origina que los materiales acarreados en suspensión por la corriente se sedimenten, ocasionando un problema al acumularse los azolves en la obra de toma.

El problema consiste básicamente en una baja de eficiencia en el sistema de aprovechamiento y aumento en los costos de operación y mantenimiento, llegando a causar la suspensión temporal del sistema. Si se considera además que los azolves pueden pasar a los sistemas de riego, es evidente la importancia de establecer sistemas de control o de limpia.

El proceso de azolvamiento se presenta en todas las estructuras que contengan o deriven un cauce. Este proceso comienza desde la construcción de la presa, ya que se eleva el nivel del agua y se aumenta la sección transversal de la vena líquida, lo que origina que la velocidad disminuya y como consecuencia la capacidad de arrastre del agua decrezca, por lo que el material conducido por el río se deposita. El problema aumenta al concluir la obra, ya que la presa en sí es un obstáculo que detiene cuerpos grandes, incluso los flotantes.

El tipo y cantidad de azolve están determinados por la geología y tipo de vegetación en la cuenca y cauce, por la velocidad de la corriente, por la zona donde se ubique la obra, etc.

Una corriente transporta material en tres formas:

- arrastre
- en suspensión:
 - no cohesivos que se depositan
 - cohesivos que no se depositan
- cuerpo flotante.

El material de arrastre está constituido generalmente por arenas, gravas y cantos rodados, y es el que ocasiona mayores problemas al funcionamiento de la derivadoras. El material en suspensión debido a su finura, normalmente no causa ningún daño a las estructuras y en muchos casos llega a beneficiar a los terrenos aledaños. Finalmente, los cuerpos flotantes pueden causar algunos problemas, aunque éstos sean menores que los originados por el material de arrastre.

El problema de los azolves en las obras de derivación puede resolverse de dos formas: removiéndolo de forma periódica o destinando un determinado volumen del vaso para que sea ocupado por este material durante la vida útil de la presa, tal como se hace en la gran mayoría de las presas de almacenamiento.

La opción más común en las presas de derivación es la construcción de estructuras con el objeto de proveer una limpieza periódica a la obra de toma, ya que por su tamaño el considerar un volumen muerto resulta inoperante.

La estructura consiste de un canal llamado desarenador, formado por dos paredes verticales paralelas, una separa el cauce del río y el desarenador y la otra el desarenador y la ladera del río, es precisamente en ésta última pared donde se localiza la obra de toma.

Es recomendable que el desarenador sea paralelo al eje del río, y la obra de toma perpendicular al mismo, con el fin de evitar el paso del azolve hacia los canales de conducción.

Cuando la cantidad de azolve es grande y las características topográficas e hidrológicas del río lo permiten, los desarenadores pueden construirse muy amplios para utilizar la energía de la corriente y desarenar parcial o totalmente al canal.

El funcionamiento del canal desarenador es el siguiente:

Al cerrarse las compuertas del desarenador se impide el paso del agua río abajo; entonces, abriendo las compuertas de la obra de toma, el agua se encauza hacia el canal de riego, esto trae como consecuencia que los materiales se decanten aguas arriba del sistema de control del desarenador y dentro del canal debido a la baja velocidad del agua. Para desalojar el azolve, se cierran las compuertas de la obra de toma, se abren las del desarenador y se produce un flujo de agua de manera que su velocidad sea suficiente para arrastrar el azolve y depositarlo en el río aguas debajo de la derivación, generalmente esta operación se hace en tiempo de avenidas.

Geometría e hidráulica del desarenador

Las características geométricas del desarenador dependen de las condiciones de funcionamiento del mismo. Para este análisis generalmente se consideran dos formas de operación:

Caso 1 - canal desarenador cerrado y obra de toma abierta

En este caso el tramo del desarenador ubicado frente a las compuertas de la obra de toma funciona como un tanque de sedimentación. Deben presentarse velocidades bajas que permitan que los acarrees del río se depositen en esta zona.

En general la sección es rectangular, pues se aprovechan las paredes de los muros laterales y además esta sección facilita instalar las obras de control del desarenador y la obra de toma.

Con objeto de contar con espacio para el depósito de sedimentos en el canal desarenador, la cota de su plantilla debe ser inferior a la del umbral de la obra de toma, evitando además el paso de material de arrastre al canal de riego. No existe un criterio definido para determinar esa diferencia de cotas, sin embargo debe considerarse que depende del tamaño y cantidad del material de acarreo. De acuerdo con la experiencia se ha llegado a proponer que como mínimo esa diferencia sea de 80 cm. El diseño del canal se reduce simplemente a calcular su ancho, dada la velocidad del agua y la elevación de la misma, que corresponde a la de la cresta de la cortina vertedora, de acuerdo a la ecuación de continuidad se tendrá:

$$Q_d = AV_s \Rightarrow A = \frac{Q_d}{V_s}$$

Por otro lado se sabe que:

$$A = bd$$

de donde se puede obtener el ancho del canal:

$$b = \frac{A}{d}$$

y finalmente se puede expresar al ancho del canal con la ecuación:

$$b = \frac{Q_d}{dV_s}$$

en donde:

Q_d = Gasto mínimo normal o gasto mínimo en el canal, que debe corresponder al gasto de derivación normal, m^3/s .

A = Sección hidráulica del canal, m^2

V_s = Velocidad para propiciar la sedimentación

La velocidad de sedimentación se puede obtener mediante el cálculo de la velocidad de caída de las partículas que están inmersas en un líquido, para este caso, agua. Existen varios modelos que obtienen esta velocidad, relacionando como variables al tamaño de la partícula con el número de Reynolds.

Cuando la obra de toma opera parcialmente se tendrá un gasto menor que el normal de derivación. En este caso en el canal desarenador, dado que la sección hidráulica es la misma, la velocidad disminuye, presentándose así una condición favorable.

Caso 2 - canal desarenador abierto y bocatoma cerrada

Esta condición se analiza para conocer la capacidad de autolimpieza del desarenador. Se considera que los azolves se han acumulado frente a la obra de toma y entonces se cierran las compuertas de ésta y se abren las del desarenador; así, se trata de provocar un flujo rápido para que el agua incremente su capacidad de arrastre. Sin embargo; la velocidad no debe ser tan alta que

provoque erosión en el canal, o que ocasione socavaciones al pie de las estructura.

Una variable que puede controlarse para garantizar una velocidad de arrastre suficiente pero no erosiva es la pendiente. Los casos que pueden presentarse son:

- a) Se tiene el gasto normal de derivación. En este caso ésta es la condición más desfavorable, ya que para gastos mayores se incrementa la capacidad del arrastre de la corriente en el desarenador.
- b) Se tiene un gasto mayor que el normal de derivación, que corresponde al nivel máximo del agua en la presa, es decir, el NAME.

En los dos casos se debe calcular la pendiente adecuada y revisar las velocidades del escurrimiento de la siguiente forma:

Conocidos:

Q_d = gasto normal de derivación

b = ancho de plantilla

V_a = velocidad adoptada para producir arrastre

La velocidad para producir arrastre se fundamenta en la velocidad de inicio de movimiento. Esta velocidad es la que hace que las partículas que se encuentran en el fondo comiencen a moverse. Existen varios criterios que consideran la velocidad del flujo que provoca que la partícula se mueva por el fondo, que haga saltos o que se mueva dentro del flujo. Los modelos para calcular la velocidad de inicio de movimiento incluyen como variables al esfuerzo cortante del flujo y el que resisten las partículas.

Para el caso a) se tiene que:

$$Q_d = AV_a$$

Como se trata de una sección rectangular:

$$A = bd$$

luego entonces:

$$Q_d = V_a bd \Rightarrow d = \frac{Q_d}{V_a b}$$

y también se sabe que:

$$r = \frac{A}{P} = \frac{bd}{b + 2d}$$

Aplicando la fórmula de Manning la pendiente hidráulica puede calcularse con la expresión:

$$S = \left(\frac{V_a n}{r^{2/3}} \right)^2$$

Para el caso b) se tiene que:

$$A = bd$$

siendo d la altura del orificio en el canal desarenador.

$$P = b + 2d$$
$$r = \frac{A}{P} = \frac{bd}{b + 2d}$$

y la velocidad valdrá, según la fórmula de Manning:

$$V_s = \frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$$

La pendiente calculada será la correcta cuando la velocidad se encuentre en el intervalo de velocidades definidas como máxima y mínima del desarenador.

Se ha encontrado mediante métodos experimentales y matemáticos que las velocidades con capacidad de arrastre sin causar erosión en el desarenador, varían de 2.50 m/s a 4.00 m/s, habiéndose aceptado valores de 1.50 m/s.

Es importante señalar que la pendiente que se trata en estos casos es la hidráulica, ya que esta es la que considera en todos los casos antes señalados. Es fácil caer en la confusión de considerar la pendiente como la que se tiene por la topografía del lugar, es por eso que se debe tener cuidado al hacer los cálculos hidráulicos que influirán en el diseño de las estructuras.

Operación y mantenimiento de presas derivadoras

Como toda obra de ingeniería, las presas requieren una operación eficiente y un mantenimiento adecuado y oportuno para así poder garantizar un buen funcionamiento.

Esto obliga a pensar en las obras de control. El funcionamiento del equipo necesario para lograr el control en una presa debe establecerse precisamente, dependiendo de la magnitud de la obra, pudiendo ser desde una simple relación de operaciones o instructivo de operación que se ejecuten manualmente, hasta el control de equipo mucho más complejo por medio de sistemas computarizados.

En las presas derivadoras se requiere un control estricto de los sistemas de compuertas, ya que éstas son la parte de la obra que regula el funcionamiento de la misma.

El mantenimiento varía de una presa a otra, de acuerdo al tipo de material con que haya sido construida. Así, en una presa de tierra será fundamental dar mantenimiento a los taludes, cuidando que siempre tengan protección contra los agentes erosivos, esto es, que el enrocamiento, concreto o asfalto del talud aguas arriba y que el enrocamiento, hierba o cualquier acabado del talud aguas abajo, estén en buenas condiciones siempre; por ello, es indispensable establecer inspecciones periódicas, así como cuidar la cimentación y las laderas. Independientemente de estas inspecciones en intervalos de tiempo definidos, es necesario realizarlas en ocasiones especiales, por ejemplo, durante el llenado rápido de la presa, cuidando la aparición de grietas, asentamientos, deslizamientos de taludes, filtraciones, fuentes, zonas licuadas, etcétera. Esto mismo debe hacerse después de un vaciado rápido. En las épocas en que el nivel se encuentre bajo se deberá aprovechar para observar las porciones expuestas del talud y las laderas, y reparar en caso de ser necesario.

En presas cuyo material sea concreto se recomiendan, según el United States Bureau of Reclamation (USBR), inspecciones anuales de las estructuras como tuberías y drenes. Además, deben observarse posibles asentamientos, abombamientos, deslizamientos, agrietamientos o descascaramientos del concreto, así como revisar las juntas de contracción, los daños por erosión o cavitación, filtraciones en el cuerpo de la presa, en ductos o cimentación, socavaciones, o cualquier funcionamiento anormal.

La inspección también debe de abarcar las zonas y los cauces vecinos, sin olvidar la inspección del equipo mecánico con que cuenta la presa.

II.3 DISPONIBILIDAD SUPERFICIAL

Una forma común de extracción de agua para cubrir la demanda de diversos usuarios es a través de derivaciones directas de los escurrimientos superficiales, sea con estructuras formales, o bien, rústicas o artesanales. Las primeras pueden ser grandes obras que se extienden en toda la sección de un cauce, con estructura semejante a la corona de las presas de almacenamiento y destinadas a extraer volúmenes de hasta cientos de m^3/s . Para el segundo caso se trata de construcciones pequeñas, hechas con troncos y rocas que no cubren toda la sección de una corriente, con baja capacidad (la derivación generalmente no rebasa $1 \text{ m}^3/\text{s}$) y se reconstruyen fácilmente de manera manual en caso de que se destruyan con las avenidas.

Los problemas de derivación en una corriente radican más en los gastos instantáneos que en el volumen promedio escurrido. En estos casos, aunque se tengan volúmenes promedio de escurrimiento en un periodo anual o mensual significativos, no son aprovechables totalmente por medio de derivadoras debido a la naturaleza de los escurrimientos instantáneos; esto es común en corrientes típicas de zonas áridas, que poseen gastos reducidos pero picos considerables sólo durante tormentas convectivas, de gran intensidad y corta duración.

Similar comportamiento se tiene en cuencas donde se ha alterado la cubierta vegetal, lo que ha ocasionado la disminución de la infiltración y percolación, la pérdida de capacidad de amortiguamiento del escurrimiento laminar, el incremento de la erosión y el arrastre de sedimentos y, en consecuencia, la magnificación de los picos de las avenidas.

El aprovechamiento por derivación en una corriente puede tener el enfoque de extraer el gasto medio (o menos) y cuando se pretende derivar los picos de las avenidas. La estimación de los volúmenes derivables puede tener una función

importante en el cálculo de la disponibilidad (u oferta) para asignaciones y/o concesiones o, en general, para conocer la potencialidad de una corriente para sustentar diversas actividades demandantes de agua.

Los principales problemas que se tienen que afrontar son los que surgen de conflictos entre los usuarios por la competencia por el recurso debido a su escasez; su origen, en parte, puede estar en la sobreestimación de la disponibilidad del agua para el otorgamiento de concesiones y asignaciones, que no pueden después satisfacerse. En estas condiciones, es indudable que cualquier variación en la precipitación hacia abajo de la media, se puede interpretar como una sequía, aunque que no necesariamente sea tal.

En el estiaje de cada ciclo anual es cuando se presenta la mayor demanda del recurso; se recomienda determinar sus límites temporales para calcular los volúmenes derivables. En el caso de la época lluviosa, habrá que pensar en derivaciones con almacenamientos asociados, de tal manera que se retenga el excedente del escurrimiento. Para ambos casos, es indispensable respetar el caudal ambiental y en general los volúmenes comprometidos aguas abajo.

CASOS DE DERIVACIONES:

1 - Derivación directa para riego: Se realiza en corrientes perennes en época de escasez y corresponde a la parte baja del hidrograma (gasto base). Los picos de las avenidas, en su caso, seguirán hacia aguas abajo sin alteración alguna.

2 - Transferencia para almacenamiento. Tiene que existir una asociación entre una presa derivadora con otra de almacenamiento. Es una excelente alternativa para aprovechar los escurrimientos en exceso representados por las

avenidas. (Presa Estudiante Ramiro Caballero, Tamps.; Proyecto La Roca. Oax..., Proyecto Terreros, N.L., etc.)

3 - Derivación en serie: Se relaciona con extracciones múltiples a lo largo de una corriente.

Pueden darse casos en que el aprovechamiento del agua subterránea aumente los gastos de una corriente a través de las descargas de aguas residuales. Tal es el caso que resulta en el estado de Morelos, en los ríos Apallaco, Yautepec y Cuautla, que en conjunto presentan un escurrimiento promedio anual de 213 millones de m³, reciben una descarga de aguas residuales de 300 millones de m³ (proveniente de 790 millones de m³ de extracción total de aguas subterráneas) y se extraen 463 millones de m³ de aguas superficiales para uso agrícola. En este caso, gracias a las descargas de aguas de retorno es posible la disponibilidad para irrigación.

La demanda actual del agua en muchas regiones supera a la oferta, por lo que tendrá que cambiarse el enfoque tradicional de los proyectos, en los que se define primero la DEMANDA de agua de los diferentes sectores usuarios (agrícola, urbano, industrial, etc.) y después la infraestructura para la captación almacenamiento y distribución necesaria para cubrirla. Actualmente tendrá que invertirse el proceso, esto es, primero se tiene que definir la disponibilidad y la OFERTA POSIBLE y, posteriormente, la actividad por instrumentar (superficie posible de irrigar, industrias que podrían asentarse, población que puede servirse en la zona, etc.). Se trata de aprovechar un recurso que ya no cubre las demandas actuales. Las presas derivadoras, que aprovechen sólo los picos de las avenidas pueden contribuir significativamente con este enfoque.

II.4 DISPONIBILIDAD SUPERFICIAL EN UN SISTEMA DE CUENCAS

El proceso de estimación de la disponibilidad de agua superficial en un sistema de cuencas interconectadas natural o artificialmente consta de tres fases principales:

- 1) Estimación del escurrimiento aguas abajo;
 - 2) Distribución de las demandas aguas arriba y
 - 3) Estimación de la disponibilidad
- 1.- Estimación del escurrimiento aguas abajo

Una manera de obtener la expresión para la estimación del escurrimiento aguas abajo de una cuenca, consiste en aplicar el principio de continuidad a un volumen de control que envuelve a la corriente principal de la cuenca en cuestión como se muestra en la figura siguiente.

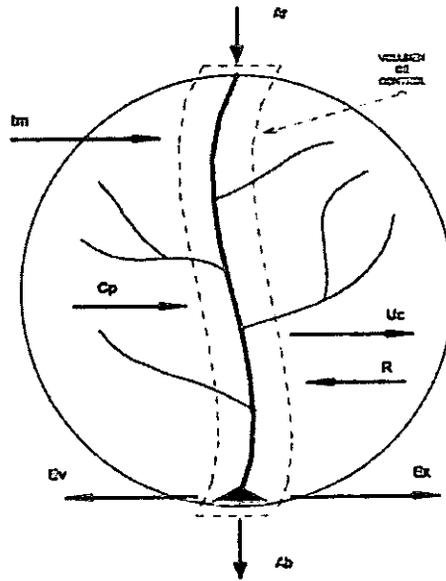


Fig II.7 Diagrama de una cuenca Intermedia

donde:

Ab	Escurrimiento aguas abajo
Ar	Escurrimiento aguas arriba
Cp	Escurrimiento por cuenca propia
Ev	Evaporación en vasos
Ex	Exportaciones a otras cuencas
Im	Importaciones
R	Retornos
Uc	Usos consuntivos

La Figura II.7 muestra una cuenca intermedia cuya corriente principal se encuentra dentro de un "tubo imaginario" cuyos extremos coinciden con la entrada y salida de la cuenca. El planteamiento analítico de envolver el cauce de la corriente principal en un volumen imaginario para realizar el análisis de entradas y salidas de agua evita involucrar los términos de escurrimiento subsuperficial y subterráneo. Además, de esta manera también se evita involucrar los volúmenes de precipitación, de infiltración, evapotranspiración y detención en depresiones debido a que en lugar de ellos se utiliza el escurrimiento por cuenca propia, C_p , que resulta de restar de la precipitación los tres últimos conceptos. El principio de continuidad se aplica a la superficie del volumen de control de la siguiente manera:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \Delta V \quad (1)$$

En esta ecuación ΔV representa el cambio anual en el volumen de agua superficial almacenada. Se estima restando el volumen inicial almacenado al principio del año en cuestión del volumen almacenado al final del mismo.

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

Donde V_1 y V_2 son los volúmenes almacenado al principio y al final del periodo anual. Es claro que ΔV puede ser positivo o negativo dependiendo de las magnitudes de V_1 y V_2 .

Identificando cada uno de los términos en el diagrama, la ecuación de continuidad se expresa de la siguiente manera:

$$Cp + Ar + R + Im - (Ab + Uc + Ev + Ex) = \Delta V \quad (2)$$

En esta ecuación los retornos R representan la suma de los retornos superficiales, es decir, los volúmenes que se extraen de la red fluvial y que reingresan a ella por no haber sido utilizados, y los volúmenes que originalmente fueron extraídos de fuentes subterráneas y que se integran a la red superficial por no haber sido utilizados en su totalidad.

Despejando de la ecuación (2) el escurrimiento aguas abajo, Ab, tenemos que:

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex + \Delta V) \quad (3)$$

que es la expresión para estimar el escurrimiento aguas abajo. Aplicándola a un año en particular, se obtiene el escurrimiento aguas abajo para dicho año.

El periodo de análisis para la estimación del escurrimiento aguas abajo es anual. Por esto debe ser incluida la variación en el volumen de almacenamiento ΔV .

Respecto al proceso de estimación de la disponibilidad superficial, la última expresión se aplica sucesivamente a las cuencas parciales del sistema analizado en dirección de aguas arriba hacia aguas abajo. Con ello se estiman el escurrimiento aguas abajo el cual a su vez es la base para estimar la disponibilidad en el cauce principal a la salida de una cuenca, como se verá más adelante.

Es importante aclarar que la estimación de la disponibilidad toma en cuenta las condiciones de oferta media de agua la cual se representa por el escurrimiento virgen promedio. El resto de los términos involucrados corresponden a un año en especial. De ellos, en general, el más importante es el correspondiente a las demandas para usos consuntivos, Uc.

La idea de comparar la disponibilidad media de una cuenca contra la demanda de un año en especial, proviene del hecho de que se pretende estimar la disponibilidad de agua superficial mediante una comparación entre la capacidad promedio de aportación de escurrimiento de una cuenca contra las demandas de hecho y de derecho del año en cuestión. Esto último representa la condición más real respecto a las demandas debido a que en general ellas tienden a incrementarse en el transcurso del desarrollo de las cuencas. La condición de oferta media cobra sentido al considerar que dicho valor es el más probable de ocurrir a través del tiempo.

II.4 NOTA SOBRE LOS CAUDALES AMBIENTALES

Existe la necesidad de reservar cierta cantidad de agua para la conservación ecológica de las cuencas.

Respecto a la determinación de la disponibilidad superficial se debe verificar que los volúmenes remanentes de agua, esto es, después de descontar los volúmenes destinados a usos consuntivos, sean al menos iguales a los volúmenes ecológicos estimados.

De acuerdo al método de Tennant para el cálculo del caudal de reserva ecológica, identificado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se debe

reservar al menos un 10% del caudal medio en cada corriente. Sin embargo, en cada caso de solicitud de aprovechamiento de aguas superficiales, se debe elaborar un estudio específico para establecer los requerimientos hídricos mínimos para la conservación de los ecosistemas de la zona en cuestión.

El impacto ambiental es otro aspecto a considerar, ya que actualmente se requieren estudios que muestren qué tanto son afectados los ecosistemas al desbalancearlos a causa de las extracciones que se le realicen al río, así como el daño que pueden ocasionar las obras durante su construcción, operación y mantenimiento. Se puede definir al impacto ambiental como los efectos no deseables que provoca la construcción y operación de una obra, y el objetivo de su estudio es el mitigar o evitar tales efectos. Los aspectos de conservación de los sistemas ecológicos son una cuestión práctica para así lograr la preservación y/o mantenimiento de los recursos, ya que la filosofía del estudio de impacto ambiental es preventiva, no correctiva. La figura siguiente se puede observar de forma gráfica el equilibrio ecológico en relación con el uso y manejo de los ecosistemas. (Fig. II. 8)

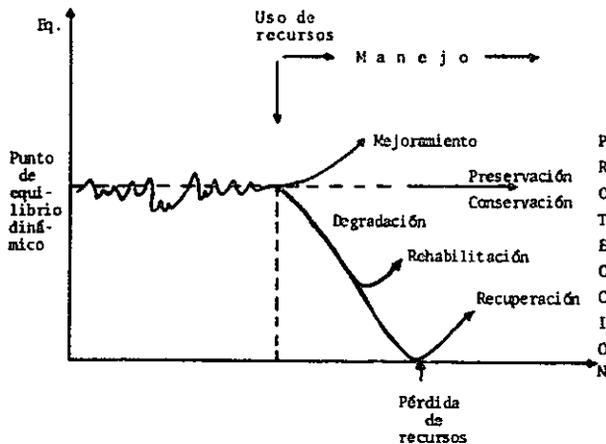


Fig. II.8. Equilibrio ecológico en relación con el uso y manejo de los ecosistemas.

Cabe señalar que el impacto ambiental de las obras hidráulicas se incluyó por primera vez en la década de los setenta, mas específicamente en el Plan Nacional hidráulico de 1975. Se plantean problemáticas de contaminación, invasión de malezas acuáticas y cambios en la ictiofauna (ref. 13), y algunos problemas derivados de la alteración de las cuencas y del ciclo hidrológico. La necesidad de mantener un *gasto de garantía* actualmente conocido como *caudal ambiental, ecológico o de conservación*, igualmente se planteó en aquellos años con la propuesta de incluirlo como parte del proyecto de la presa Cajón de Peña, Tomatlán, Jalisco. (ref. 14)

La realidad es que las presas derivadoras son una tecnología blanda; esto es, el nivel de alteración ecológica puede no ser tan drástica como en una presa de almacenamiento.

II.5 SISTEMA DE ANÁLISIS DE EXCEDENTES PARA DERIVACIÓN

En los escurrimientos en cauces se presentan, inevitablemente, variaciones en la cantidad de agua que pasa por una sección, es decir, el escurrimiento no es constante a lo largo del tiempo. Dentro de esta variabilidad se tienen picos o avenidas, que son excedentes que normalmente no se aprovechan, por el contrario, se dejan pasar para que las obras hidráulicas no sufran daños, o bien, se presenten inundaciones en las zonas aledañas a la presa o almacenamientos no deseados que pongan en peligro tanto a la obra como a las poblaciones ribereñas, o bien, para cubrir los volúmenes comprometidos aguas abajo.

Las presas derivadoras están diseñadas bajo el criterio de que el gasto base a considerar sea el mínimo del escurrimiento, esto con el fin de asegurar que la obra funcione siempre. Cuando se presentan avenidas, la presa, mediante una

cresta vertedora, por ejemplo, deja pasar los excedentes, por lo que estos no son derivados ni aprovechados.

Actualmente, se ha planteado un esquema en el diseño de las presas derivadoras, que es el derivar precisamente los picos excedentes que se presentan al ocurrir una avenida por el río. Estos excedentes pueden ser aprovechados para alimentar a una cuenca asociada para así crear un almacenamiento, o bien, aprovechar los excedentes que se presentan cuando hay avenidas extraordinarias en una presa de almacenamiento.

Basándose en lo anterior, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) está trabajando en el desarrollo de sistemas de información que evalúen la factibilidad de construir obras que permitan almacenar o transferir a otra cuenca los volúmenes extraordinarios que se presentan a lo largo del tiempo. Estos sistemas podrían ayudar a definir escurrimientos aprovechables por derivación tanto en época de avenidas como durante el estiaje, así como la frecuencia y magnitud en que dichos excedentes se presentan, siempre respetando los volúmenes comprometidos.

Los sistemas que se plantean este problema toman como base de su estudio un área de interés, en donde se pueda conocer la ubicación de las estaciones hidrométricas, climatológicas y el sitio propuesto para derivación. El Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (Bandas) contiene información hidrométrica de 1527 estaciones de todo el país en periodos variables. Estos datos incluyen las mediciones obtenidas desde 1902 hasta 1994. Además existe otro sistema de información climatológica (ERIC), el cual contiene información de 6000 estaciones.

Toda la información que se obtiene de estas bases de datos es considerada y utilizada para la estimación de la derivación que se planea realizar.

Es necesario conocer las características hidrométricas de la estación que nos proporcionará los datos, esto es, el promedio de los valores registrados, los valores máximos y mínimos para cada día, así como el valor de una desviación estándar por arriba y por debajo de la media.

Puede hacerse una gráfica Tiempo (años, meses, días) vs Gasto (m^3/s) con los datos anteriores para poder identificar los días en que se presentaron picos o excedentes que pueden ser de interés, tanto en relación con el promedio, como una desviación estándar por arriba de este. De esta forma pueden calcularse los hidrogramas mensuales, semestrales y anuales para observar la diferencia entre años con escurrimientos pobres y con escurrimientos abundantes, así como un análisis diario para identificar los días en donde se presentaron picos o excedentes.

Cuando no se cuenta con suficiente información de una estación de aforo en el punto de interés, se puede estimar el gasto diario mediante el método de lluvia escurrimiento:

$$Q_s = PAC_e + Q_e$$

donde:

Q_s = Gasto a la salida de la cuenca

P = Precipitación

A = Área de la cuenca

C_e = Coeficiente de escurrimiento

Q_e = Gasto de entrada a la cuenca

Además de los hidrogramas de escurrimiento, ya sean los registrados o los calculados para los diferentes casos, con las características principales de la obra de derivación propuesta, se pueden calcular los hidrogramas del gasto a derivar y

los correspondientes al gasto que escurrirá aguas abajo una vez desconectado el gasto derivado.

Los parámetros de diseño que se consideran son:

- Área del orificio (m^2)
- Altura del borde (m). Esta altura será la diferencia de nivel entre el cimacio y el nivel medio del orificio.
- Coeficiente de descarga. Este coeficiente incluye los coeficientes de contracción y velocidad del orificio.
- Curva gasto – elevación por arriba del bordo. Se puede definir mediante una recta altura = gasto*k, en donde se definirá el valor k, o dando parejas de valores (altura, gasto).

El gasto a derivar se calcula mediante la fórmula general del gasto que pasa por un orificio, vista anteriormente en este capítulo:

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Con los datos de la obra de toma y la curva gasto – elevación, se puede estimar el gasto mínimo a derivar, el máximo y el promedio, en función de los gastos históricos registrados. La carga sobre la obra de toma para cada uno de estos tres gastos también puede ser calculada. De esta manera puede verificarse si los valores propuestos son adecuados o requieren modificarse. Finalmente, cuando se cuente con la geometría propuesta, se generan los hidrogramas de gasto derivado y gasto que pasa aguas abajo. En este último puede señalarse, en caso de que se proporcione la información, el nivel del gasto comprometido, para así verificar que el volumen derivado no afecta los compromisos adquiridos aguas abajo. Cabe señalar que los hidrogramas pueden ser para una año en particular o para el promedio anual.

III. ASPECTOS ESTRUCTURALES

III.1 TIPOS DE PRESAS DERIVADORAS POR SU ESTRUCTURA

Generalmente se piensa en una captación por derivación, cuando el caudal normal que se pretende aprovechar es igual o mayor que el necesario para satisfacer una demanda específica y es claro que se adopta una obra de almacenamiento cuando el gasto de la corriente sea menor que el gasto requerido.

Las fuentes de abastecimiento que se aprovechan para construir este tipo de obras son principalmente arroyos, ríos, y manantiales.

En algunas ocasiones se combina la captación de los escurrimientos superficiales con la de aguas subálveas y por ello algunas obras, como la galería filtrante, pueden quedar incluidas en las obras de derivación.

De acuerdo con lo anterior y considerando las características, tanto de la fuente de aprovechamiento como de la obra, básicamente se tiene los siguientes tipos de obras de derivación:

- Tomas directas
- Barrajes simples
- Presas de derivación
- Cajas en manantiales
- Galerías filtrantes
- Diques subterráneos
- Plantas de bombeo

Tomas directas

La toma directa representa una de las soluciones más simples para efectuar una derivación y se adopta cuando la fuente de aprovisionamiento puede proporcionar un caudal mucho mayor que el gasto deseado. En estos casos no es necesario elevar el nivel del agua de la fuente para encauzarla hacia el sitio deseado, ya que se busca contar en forma natural, con un tirante adecuado y condiciones topográficas favorables que posibiliten un funcionamiento hidráulico correcto. El tirante necesario puede tenerse en alguna poza que haga las veces de presa derivadora natural localizada en un lugar firme.

Esencialmente consta de un canal abierto que comunica a la fuente directamente con un conducto que llevará el agua a su destino, y de una estructura en la que se instalan rejillas y compuertas para el control del paso del agua.

Especialmente se construyen en ríos. En general, este tipo de obra no cuenta con ningún dispositivo para evitar el azolvamiento de la estructura y lo que se procura, es captar las aguas a un nivel lo más alto que sea posible del fondo del cauce.

Barrajes simples

Los barrajes son quizá la forma más rudimentaria de las obras derivadoras utilizados en ríos y arroyos. La idea que se persigue con ellos, es constituir una pantalla que obstaculice el paso de la corriente, obligándola a formar un tirante mayor de lo normal, para desviar parte del agua y encauzarla a un canal localizado en una de las márgenes del río. Los barrajes se construyen transversalmente a la corriente y se forman con tablestacados, ramas de árboles y diques de arcilla o con material de acarrees del mismo río.

Generalmente se emplean en aprovechamientos provisionales y de poca magnitud ya que se tiene la necesidad de un constante acondicionamiento, porque son fácilmente deteriorados por la corriente, especialmente en épocas de crecientes, por lo que se recomienda su construcción después de la temporada de lluvias. Este tipo de obra permite un desarenamiento natural y la construcción del canal de riego a un nivel más alto que el logrado con la toma directa.

Presas de derivación

Las presa de derivación son estructuras que se originaron al mejorar el funcionamiento de los barrajes y la efectividad de las tomas directas. Consecuentemente, mediante este tipo de obra se controla el paso de la corriente, se eleva el tirante del agua para encauzarla hacia la obra de toma y el gasto de derivación es controlado con esta última estructura.

Cajas en manantiales

Para captar el agua de los manantiales se construyen diques y cajas de concreto o de mampostería dispuestos en forma tal, que se logre reunir en un sitio convenientemente elegido, la aportación de cada veneno para facilitar y controlar la derivación.

Galerías filtrantes

La galería filtrante se emplea para captar el agua subálvea de los ríos y en algunos casos se combina con la construcción de las presas derivadoras o de las tomas directas para mejorar el aprovechamiento de una corriente.

Consisten en uno o varios conductos perforados y sin juntar, dispuestos en forma conveniente a un nivel inferior del fondo natural del cauce, a fin de recolectar y conducir las filtraciones a un depósito subterráneo del cual se extrae el gasto recolectado.

Diques subterráneos

Los diques subterráneos son pantallas que se interponen bajo el fondo del cauce de los ríos, para cortar las filtraciones del agua entre los acarrees y propiciar el afloramiento de las corrientes subálveas una vez que éstas hayan sido convenientemente definidas.

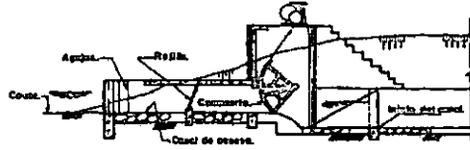
Se forman de diferentes materiales como concreto, arcilla compactada, lechadas de cemento y bentonita, etc. En algunos casos el dentellón de un dique vertedor se prolonga lo suficiente para hacer las funciones de pantalla subterránea.

Plantas de bombeo

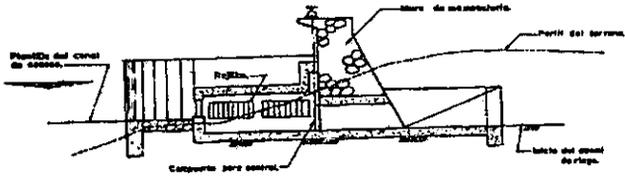
Cuando se ha definido la necesidad de bombear el agua para llevarla hasta un sitio convenientemente elegido, las estructuras ya mencionadas se complementan con una planta de bombeo, formando así lo que se puede llamar un sistema de derivación con bombeo.

A continuación se muestran algunos esquemas que representan la composición típica de las estructuras de derivación antes mencionadas.

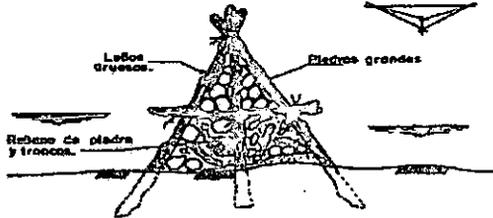
- Toma directa:



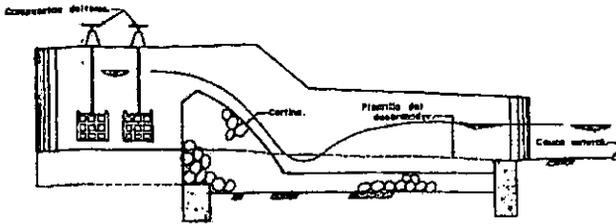
- Toma directa:



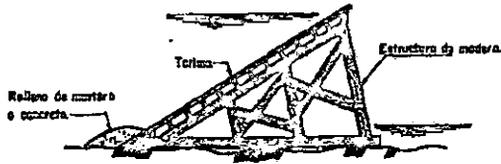
- Barrajes:



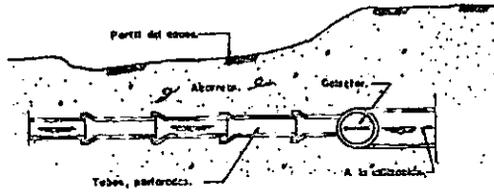
- P. derivadora:



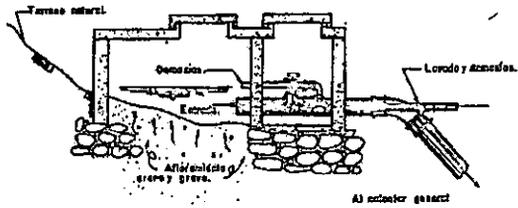
- Barrajes:



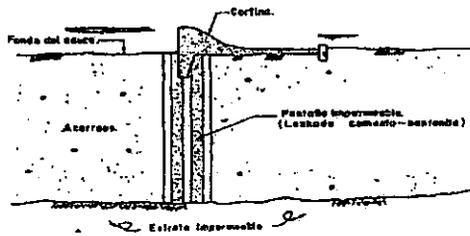
- Galería filtrante:



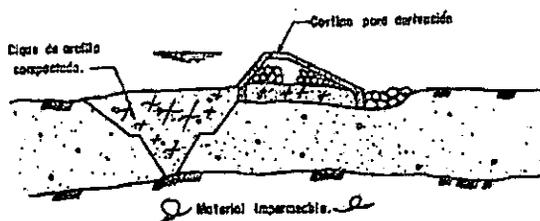
- Dique subterráneo



- Caja en manantial:



- Dique subterráneo:

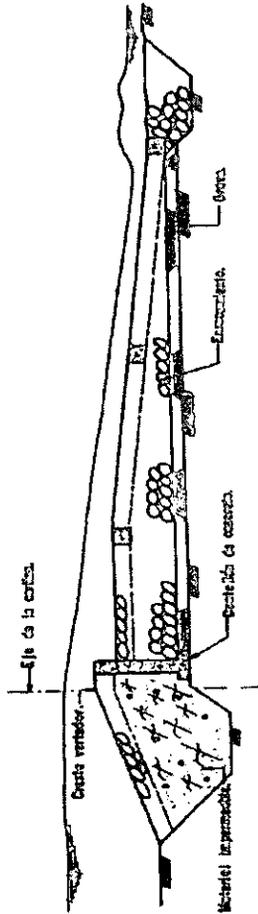
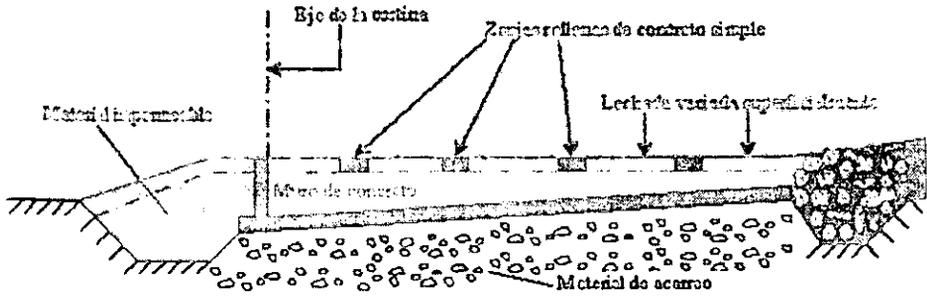


III.2 PRESAS DE ENROCAMIENTO O TIPO INDIO

Las presas llamadas de tipo indio son estructuras no formales que se utilizan para derivar las corrientes de un río, pero que son lo suficientemente importantes como para ser consideradas como estructuras permanentes. La metodología de construcción de estas estructuras se ha desarrollado de forma empírica. Se pueden construir desplantándolas directamente sobre el material de acarreo del río, por lo que también se les llega a llamar "flotantes".

Las principales partes de esta estructura son: un muro, que puede ser de mampostería o concreto simple, y un respaldo de material compactado que aumenta la longitud del paso de filtración. La estabilidad de la presa se la proporciona el enrocamiento acomodado aguas abajo con una lechada de concreto.

En las figuras siguientes se puede observar una sección típica de este tipo de presa derivadora:



Figs. III.1 Presa tipo Indio

El contacto del enrocamiento y el material de cimentación se puede hacer con materiales diversos, la obra termina en una trinchera de enrocamiento localizada al final del paramento aguas abajo de la presa y cuyo objeto es resguardarla de la socavación que puede presentarse en este sitio.

Estas estructuras se diseñan generalmente en forma empírica, pues la mayoría de las veces no es posible hacer estudios cuidadosos de mecánica de suelos como se requiere en un diseño estricto, y casi siempre se construyen con factores de seguridad muy grandes, o más comúnmente, sobradas. El rango de alturas de estas presas construidas en México varía de 1 a 8 metros. De acuerdo a la experiencia y al tipo de materiales que se han empleado para su construcción, se recomienda que los taludes aguas abajo de estas presas sean de 10:1 a 14:1 y el de aguas arriba de 3:1 a 5:1.

Las presas derivadoras de manufactura artesanal o empírica pueden considerarse como estructuras *fusibles*, esto es, estructuras de fácil remoción debida a la fuerza del cauce. Es conveniente que estas estructuras sean fácilmente removidas, ya que el hecho de dejar el flujo del río libre de obstáculos asegura en cierta forma que no se presenten inundaciones o desastres aún mayores en las zonas ribereñas.

Estabilidad de las presas de mampostería

Para entender el funcionamiento de las presas derivadoras es necesario establecer los principios básicos para su construcción. A continuación se presentan algunos aspectos fundamentales de la estabilidad de las presas de mampostería o concreto.

Como en la gran parte de las estructuras hidráulicas, las presas de mampostería cuentan con un cimacio vertedor. Este cimacio se aproxima a la

forma que toma la superficie inferior (lámina vertiente) del agua que fluye a través de un vertedor con caída libre; esta forma es aproximada a la de una parábola. Esto se hace con la finalidad de evitar subpresiones en la lámina vertiente y el paramento aguas abajo, con lo que se evita el efecto de cavitación.

El análisis de la estabilidad de esta estructura es muy similar al que se hace para una presa de gravedad. Cabe mencionar que estas presas son, de hecho, presas de gravedad vertedoras.

Las fuerzas actuantes en estas presas son:

- a) Peso propio
- b) Presión hidrostática
- c) Subpresión
- d) Empuje de sedimentos o azolves
- e) Fuerzas sísmicas
- f) Presión ejercida por el peso del agua sobre el paramento aguas abajo
- g) Presión negativa entre el manto de agua y el paramento de aguas abajo
- h) Rozamiento del agua con el paramento de descarga
- i) Choque de olas y cuerpos flotantes
- j) Presión del hielo
- k) Reacción del terreno.

- a) Peso propio (P)

El peso propio se calcula de acuerdo al material que se utilice, pero para fines de anteproyectos se pueden considerar los siguientes valores, aunque éstos son conservadores:

Material	Peso volumétrico en kg/cm ³
Mampostería	2 000
Concreto simple	2 200
Concreto ciclópeo	2 200
Enrocamiento acomodado	1 800
Enrocamiento a volteo	1 800
Arcilla compactada	1 800
Arena y grava	1 600

b) Presión hidrostática (E_a)

Se considera la presión del agua que actúa sobre el paramento de aguas arriba de la cortina.

Cuando el paramento de arriba no sea vertical el empuje del agua que obra normal a ese paramento se descompone para efectos de cálculo en un empuje horizontal y en uno vertical que viene siendo el peso de la cuña de agua. Es claro que el peso del agua se elimina cuando se tiene un talud vertical.

El empuje E_a se calcula con la expresión:

$$E_a = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) (H_T - H)$$

donde $P_1 = \omega H$ y $P_2 = \omega H_T$

El punto de aplicación de este empuje se localiza en el centroide del diagrama trapecial, es decir:

$$\bar{X} = \frac{h}{3} \left(\frac{2P_1 + P_2}{P_1 + P_2} \right)$$

Cuando el nivel del agua se considera hasta la cresta vertedora, el empuje y centroide serán:

$$E_a = \frac{\omega h^2}{2} \quad \text{y} \quad \bar{X} = \frac{h}{3}$$

c) Subpresión (S)

Es una presión debida al agua de filtración que actúa en la cimentación de la cortina con sentido de abajo hacia arriba, y por lo tanto, es desfavorable a la estabilidad de la cortina.

c) Empuje de tierras o sedimentos y azolves (E_t)

Debido a los azolves y acarrees en general que deposita la corriente aguas arriba de la cortina, se tiene una presión sobre el paramento correspondiente que debe de ser tomada en cuenta.

Aún cuando exista un canal desarenador, no es posible evitar el depósito de esos materiales, sobre todo en el centro del cauce y también en la margen que no tenga desarenador.

El empuje de estos materiales se valúa en forma aproximada empleando la fórmula de Rankine:

$$E_t = \frac{1}{2} \gamma_t^2 \left(\frac{1 - \text{sen } \varphi}{1 + \text{sen } \varphi} \right) = \frac{1}{2} \gamma_t^2 t_x^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Siendo:

E_t = Empuje activo de tierras o sedimentos en kg

h_t = Espesor de tierras o sedimentos en m

φ = ángulo formado con la horizontal y el talud natural de los acarrees. Para grava y arena se tiene que $\varphi = 34^\circ$ aproximadamente

γ = Peso del material sumergido en el agua en kg/m^3 . Este peso se calcula con la expresión:

$$\gamma = \gamma' - \omega(1 - K)$$

en la que:

γ' = Peso del material fuera del agua o seco en kg/m^3

ω = Peso específico del agua, $1\,000\text{ kg/m}^3$

K = Por ciento o relación de vacíos en el material.

Comúnmente se adopta $K = 0.30$

e) Fuerzas sísmicas

Esta fuerza es casi siempre despreciable, ya que la mayoría de los proyectos consideran cortinas de poca altura y poco peso. No se incluye en el análisis de la estabilidad.

f) Peso del agua sobre el paramento aguas abajo

Este peso es relativamente pequeño y en general suele despreciarse, porque además, actúa a favor de la estabilidad del dique vertedor.

g) Presión negativa entre el manto del agua y el paramento

Se presenta cuando el manto se despega del paramento de aguas abajo y no se haya previsto una buena aireación de dicho manto.

Esta presión es debida al vacío que se genera debajo de la lámina vertiente, cuando el aire en este sitio es arrastrado por la corriente y aunque es despreciable en la mayoría de los casos; en otros su valor puede ser tal que ocurran fenómenos de cavitación, corroyendo el paramento de la cortina.

h) Rozamiento del agua con el paramento de descarga

Su valor es pequeño y despreciable. Prácticamente se hace nulo por la forma que se adopta para el perfil del dique vertedor.

i) Choque de las olas y cuerpos flotantes

En estas obras los fenómenos de oleaje son pequeños y la acción dinámica de las olas no se toma en cuenta. Tampoco suele considerarse el choque de cuerpos flotantes.

j) Presión de hielo

La presión de hielo es producida al dilatarse la lámina de hielo combinada con el arrastre del viento.

Es difícil valuar esta presión, porque es función de muchos factores; su magnitud depende del espesor de la lámina congelada, de la rapidez con que se eleva la temperatura (deshielo), fluctuaciones del nivel del agua, velocidad del viento, así como de la inclinación del paramento aguas arriba de la cortina.

En nuestro país no se considera esta fuerza porque las heladas no son tan intensas como para congelar el agua de los vasos de almacenamiento y menos aún en la superficie del agua en las derivadoras.

k) Reacción del terreno

Para que exista la estabilidad de la cortina, bajo cualquier condición de fuerzas horizontales y verticales, que actúan en ella se debe de oponer otra producida por la reacción del terreno, que debe ser igual y contraria a la resultante de la combinación de todas las demás cargas que obren en la cortina. Por lo anterior el terreno debe de tener la capacidad de carga mayor que la solicitada.

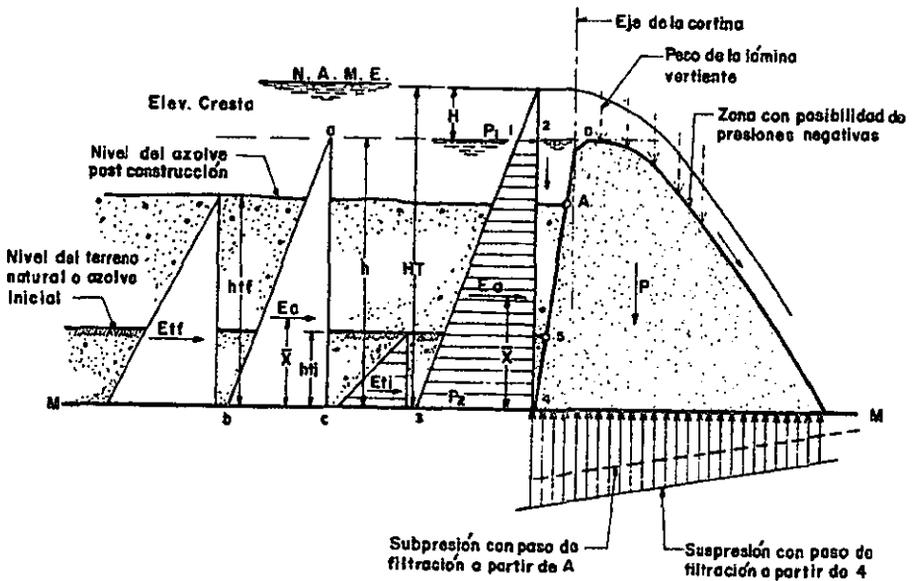


Fig. III.2 Principales fuerzas actuantes en una presa derivadora

Condiciones de estabilidad

Para calcular las condiciones de estabilidad se utilizan los mismos criterios empleados en las presas de gravedad para los incisos a) al d).

El análisis de estabilidad de una presa derivadora rígida se resume al cálculo de un muro de retención considerando las fuerzas anteriormente mencionadas, y verificando que se cumplan los tres requisitos fundamentales de estabilidad.

Volteo

Para evitar el volteo es necesario asegurar que la resultante de las fuerzas pase dentro de la base de la presa; sin embargo, para proporcionar mayor seguridad es aconsejable que dicha resultante caiga dentro del tercio medio de ésta, o bien, que el cociente de dividir la suma de momentos provocados por las fuerzas verticales entre la suma de los momentos producidos por las fuerzas horizontales sea igual o mayor que 2:

$$\frac{\sum M_{FV}}{\sum M_{FH}} \geq 2$$

Deslizamiento

El deslizamiento es un fenómeno que debe de evitarse siempre. Los materiales en contacto presentan entre sí fuerzas de fricción que, cuando se encuentran en equilibrio, la estructura es estática y estable. Se cuenta con un coeficiente de fricción de los materiales de contacto, que se obtiene por métodos de cálculo de mecánica de suelos. Cuando este coeficiente es menor que el cociente de dividir la suma de las fuerzas horizontales entre la suma de las fuerzas verticales que actúen en la estructura, y despreciando la resistencia al

esfuerzo cortante de los materiales en el plano de deslizamiento, la estructura no desliza:

$$\frac{\sum FV}{\sum FH} \geq \mu$$

donde μ es el coeficiente de fricción.

Un forma simple de visualizarlo es el de asegurar que la suma de las fuerzas verticales siempre sea mucho mayor a la de las horizontales.

Esfuerzo de los materiales

Para evitar una falla en los materiales que conforman la estructura debe asegurarse que los esfuerzos a los que trabaje no sean mayores que los admisibles.

III.3 SISTEMA RUBBER DAM

Actualmente se ha implementado un nuevo sistema para elevar la cresta de los vertedores de las presas en general. Esta tecnología se conoce comúnmente como *Rubber Dam*, y se emplean tubos de hule inflados a presión y colocados sobre la cresta del vertedor para así elevar su nivel y mitigar en parte la pérdida de volumen en un vaso por a causa de los azolves acumulados al pie de la cortina.

Este sistema también se utiliza en presas derivadoras para lograr elevar el nivel del agua a una cota tal que se genere una derivación a una estructura receptora o a un canal conductor.

Un caso reciente es el de la presas derivadora " Las Blancas", el cual se explicará a continuación.

En 1996, los gobiernos de los estados de Nuevo León y Tamaulipas, el gobierno federal y el Comité Hidráulico del Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan (DR026), suscribieron un acuerdo para incrementar la disponibilidad de agua, a través de varias acciones como la construcción de la presa "Las Blancas" sobre el río Álamo en Tamaulipas; mejorar el uso del agua en el distrito e incrementar la eficiencia física del sistema de agua potable de Monterrey, entre otras.

En agosto de 1998, después de elegir la alternativa que garantizara mayor seguridad y menor costo, se inició la construcción de la presa derivadora "Las Blancas" y su canal de interconexión sobre el río Álamo, en el sitio denominado "El Rameño", localizado 8.5 km al sureste de ciudad Mier, Tamaulipas. Con esta presa se aprovecharán los escurrimientos de la cuenca del río Álamo, afluente del río Bravo con los Estados Unidos, única corriente de la región cuyas aguas son 100 por ciento propiedad de México y que por carecer de obras para su control no se aprovechaba para derivarlos hacia la presa Marte R. Gómez y abastecer al DR 026. La presa se terminó en mayo del año 2000.

Características de la presa

Cortina

Sección de concreto rodillado, con una altura máxima de 27.85 m. ancho de corona 5 m, longitud 2 682 m; taludes vertical aguas arriba y 0.8:1 aguas abajo. Capacidad de almacenamiento 124 millones de m³; superalmacenamiento 40 millones de m³; capacidades al NAMO y al umbral de la obra de toma 84 y 17 millones de m³, respectivamente.

Vertedor

Alojado en el cuerpo de la cortina, tipo cresta libre de 850 m de longitud, con un gasto de diseño de 4 500 m³/s y una carga de 1.88 m; al final del vertedor se tiene una cubeta deflectora.

Obra de toma

Localizada en la margen derecha, con umbral a la elevación 84.0 msnm, diseñada para un gasto de 89.40 m³/s correspondiente al NAME y 47.50 m³/s al NAMO, para alimentar el canal de interconexión y derivar el caudal a la presa Marte R. Gómez.

Obra de toma para preservación ecológica

Para evitar que el cauce del río Álamo, aguas abajo de la cortina quede totalmente seco después de la construcción de la obra, se diseñó esta estructura integrada al cuerpo de la cortina y un gasto de diseño de 0.5 m³/s.

Canal de interconexión entre las presas Las Blancas y Marte R. Gómez.

Longitud de 21.72 km, incluye dos diques con 711 y 1 445 m de longitud.

El canal se diseñó con una sección trapecial revestida de concreto, que permite conducir un gasto de 47.50 m³/s hasta la elevación del NAMO y de 89.40 m³/s, para la elevación del NAME. (ref. 10)

Las presas de hule (o Rubber Dams) se usaron inicialmente en los años 50's como una forma de obstruir un escurrimiento, darle carga y poder derivar. Son tubos de hule que se inflan con aire o con agua dependiendo de los requerimientos. Actualmente se han perfeccionado y diversificado su aplicación, usándose como embarcaderos, dispositivos para disipación de energía en vertedores, sobreelevación de presas de almacenamiento, etc.

El uso de esta nueva tecnología permite dar una mayor vida útil a las obras de derivación. El caso anterior es un ejemplo muy claro de una solución sencilla que puede implementarse en las obras en donde el funcionamiento ya no es del todo adecuado. Los sistemas innovadores permiten abaratar los costos de derivación y deben implementarse cuando se requieran, es decir, cuando la obra ya no proporcione el servicio para el cual fue diseñada (Figs. III.3)



Figs. III.3 Presa acondicionada con Rubber dam

IV. ASPECTOS ECONÓMICO - SOCIALES

Para llegar a la realización de las obras de riego en general, es necesario efectuar una serie de estudios de carácter social, económico y técnico con los cuales se conocen y obtienen datos para la mejor planeación del proyecto.

Cada uno de estos estudios tienen y adquieren mayor importancia según la planeación del aprovechamiento, atendiendo a las circunstancias de éste. En las obras hidráulicas para el desarrollo rural, por ejemplo; el aspecto socio – económico es muy importante tomando en cuenta la finalidad, que se persigue con estas obras, esto es, contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida del sector agropecuario más necesitado de nuestro país.

Esta serie de estudios puede clasificarse en dos grupos, atendiendo a la etapa en que se efectúan y lo comprenden cada uno de ellos y son:

- Estudios Preliminares
- Estudios Definitivos

Estudios Preliminares

Los estudios preliminares se inician cuando se ha conocido la inquietud por la construcción de un proyecto. Esta inquietud puede tener su origen en las siguientes fuentes:

- a) Solicitudes de personas o grupos del sector campesino dirigido a las autoridades y a dependencias correspondientes y establecidas según la Ley de Aguas Nacionales.
- b) Relación e información de los sitios detectados en reconocimientos aéreos, terrestres o de gabinete por iniciativa del gobierno.

Los estudios preliminares se realizan tanto en el campo como en el gabinete y básicamente comprenden:

1. Visitas de inspección
2. Estudios socio - económicos
3. Estudios técnicos
4. Anteproyecto y conclusiones

Con estos estudios se consigue conocer la factibilidad económica y constructiva de un proyecto y conducen a un anteproyecto con su respectivo antepresupuesto, con lo cual, además de que se determina si deben efectuarse a continuación los estudios definitivos, permiten hacer evaluaciones y comparaciones para finalmente tomar alguna decisión.

1. Visitas de inspección

El primer paso que se realiza, es efectuar un reconocimiento al lugar del proyecto, consistiendo esencialmente en una inspección ocular del sitio por personal con experiencia y práctica en este campo. Se hace además la recopilación de datos que ayuden a tener una idea global del proyecto y que posteriormente servirán de base para la formulación de anteproyectos.

Las personas encomendadas a efectuar este primer paso deberán tener capacidad y pericia al respecto, de tal manera que sabrán visualizar desde luego el problema a atacar, según sea el caso, y tomar de inmediato, de ser necesario, alguna decisión sobre la factibilidad constructiva del aprovechamiento y ordenar la continuación o suspensión de los demás estudios. Es aconsejable que el ingeniero responsable de una inspección de este tipo, sea asesorado de personas conocedoras de la región y técnicos cuya especialidad interviene en la

etapa de estudio detallado de proyecto, tales como: economistas, sociólogos, agrónomos, etc.

Se realiza un cuestionario que incluye todos los datos que se muestran a continuación, y su objetivo es facilitar la labor del personal encargado de estos trabajos, a fin de sistematizar la información y conocer en forma general las características fisiográficas y socio – económicas que privan en la localidad en que se ha solicitado o detectado un posible aprovechamiento para riego y que constituyen una primera etapa de los estudios técnicos y socio - económicos que se realizan.

En general los datos a recabar son los siguientes:

1. Antecedentes
2. Vías de acceso al sitio donde se solicita la obra
3. Aspectos socio – económicos
4. Fuentes de abastecimiento
5. Zona de riego
6. Datos de gabinete para la presa derivadora
7. Observaciones y recomendaciones acerca del sitio
8. Jerarquización de estudios propuestos
9. Anexo

2. Estudios socio - económicos

Puesto que el objetivo principal que se persigue con las obras de riego es el de mejorar la producción agropecuaria y consecuentemente contribuir al mejoramiento socio – económico de la comunidad rural a quien se destinan: con estos estudios se conoce, principalmente el alcance de estos objetivos y la forma de asegurar el máximo aprovechamiento de la inversión a que da lugar la futura

obra de riego. Además, se investigan y determinan otros factores tales como: el tipo de obras adecuadas desde este punto de vista, la manera más conveniente de recuperar la inversión, la forma de solucionar los problemas económicos postconstructivos, sobre todo en lo que se refiere a la operación y conservación de la obra, lo cual influirá de manera decisiva en el éxito del aprovechamiento.

Por lo anterior, es claro que se debe comprender la importancia de estos estudios y que, sin éstos, el proyecto correría un grave riesgo de fracasar.

3. Estudios técnicos

Los estudios técnicos preliminares comprenden principalmente la obtención de una serie de datos básicos para la formulación de uno o varios anteproyectos, mediante los cuales se determinarán las características generales del proyecto definitivo.

Por la índole de los datos recabados dichos estudios se clasifican de la siguiente manera:

- Topográficos
- Geológicos
- Hidrológicos
- Agrológicos
- De mecánica de suelos

Varios de los datos determinados en esta etapa son obtenidos con procedimientos aproximados pero suficientes para el caso; otros empleando y recurriendo a métodos más precisos, de tal manera que se pueden considerar como definitivos para el diseño del proyecto.

Los estudios técnicos se llevan a cabo con mayor detalle cuando se tratan de estudios definitivos, como lo veremos más adelante.

5. Anteproyecto y conclusiones

Al elaborar en el gabinete varios anteproyectos con base en los datos obtenidos del campo; se estará en posibilidad de discutir las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, desde el punto de vista del funcionamiento, eficiencia, costo, problemas de carácter constructivo, entre otros. Una vez hecho lo anterior se contarán con elementos de juicio suficientes para tomar preferencia hacia alguna alternativa.

Basándose en todos los estudios preliminares, en las conclusiones se deberá señalar la conveniencia o inconveniencia de aprovechamiento, las características de la obra hidráulica; así como las recomendaciones que se juzguen necesarias para la buena planeación de la obra de riego.

Si el diagnóstico es favorable para la realización del proyecto, generalmente se continúan de inmediato los estudios definitivos; en otras ocasiones se difiere el aprovechamiento por cuestiones económicas y algunas veces por motivos de carácter legal (como por ejemplo, los relativos a tenencia de la tierra). Se recomienda la suspensión temporal de los estudios en tanto no se solucionen los problemas de esa u otra índole que pudieran afectar la realización de la obra.

Estudios Definitivos

Como se mencionó en los estudios preliminares, los estudios definitivos son en su parte medular los estudios técnicos, que se pueden clasificar en:

- A. Estudios topográficos
- B. Hidrológicos
- C. Geológicos
- D. Agrológicos
- E. Mecánica de suelos
- F. Constructivos

Es importante señalar que cada uno de estos estudios es básico para poder planear una obra de derivación. Se ejemplificará cuales son los estudios topográficos como ejemplo de ello.

A. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

- A.1 Localización del sitio para la derivación
- A.2 Cuenca hidrológica de captación
- A.3 Planos topográficos del sitio de derivación
- A.4 Datos relativos a la zona de riego

A.1 Localización del sitio para la derivación

Tratándose de una derivación por gravedad, la elevación topográfica del sitio con relación al principio de los canales de la zona de riego deberá ser tal que el desnivel que se tenga sea suficiente como para absorber la pendiente del canal de conducción y las pérdidas de carga que se pueden tener a lo largo de ella debido a estructuras de cruce, como son sifones y puentes canal.

En el caso de derivar el agua hacia una planta de bombeo, lo cual sucede cuando la fuente de abastecimiento está a una elevación francamente inferior a la superficie que se va a regar; esta condición se considerará al fijar la elevación de la descarga de las bombas.

Cuando la altura entre un río y el sitio de utilización del agua es moderada y ante la alternativa de ubicar la obra derivadora cerca o junto a la zona de riego, se puede pensar en varias soluciones, por ejemplo:

- Planta de bombeo con toma directa cerca o junto a la zona de riego.
- Presa derivadora de mucha altura en el mismo sitio que la planta de bombeo.
- Presa derivadora de poca altura localizada en un lugar distante aguas arriba con canal largo y estructuras de cruce necesarias.

Desde luego la solución adoptada se basará en un estudio de costos de los tipos de derivación factibles en el cual, además de la inversión inicial en cada caso se deberá considerar la operación y conservación de los sistemas, así como los conceptos de amortización y recuperación del capital.

En general, el tramo del río en donde se ubique la derivación deberá ser recto, con cauce definido, sin peligro de derrumbes y pendiente más o menos uniforme.

Tratándose de una toma directa, ante la necesidad de ubicarla en la curva de la margen indicada, es el lado cóncavo de la curva con el objetivo de disminuir en lo posible el azolvamiento de la estructura, tomando en cuenta que debido la velocidades del agua los acarrees se depositan en la parte convexa de la curva.

Lo recomendable tratándose de una presa derivadora es que las laderas del cauce sean suficientemente altas para evitar inundaciones en los terrenos ribereños aguas arriba de la presa, debido al remanso que se presenta con el funcionamiento de la obra. Si esto no es posible se deberá prever la construcción de diques o muros de protección aguas arriba de la cortina.

Las características anteriores del sitio de localización no son tan rigurosas tratándose de barrajes y galerías filtrantes o diques subterráneos ya que en los primeros, generalmente se tienen remansos pequeños y en los segundos, el sitio está más bien obligado por sus características geológicas y de mecánica de suelos.

Cuando la fuente de aprovisionamiento es uno o varios manantiales, la localización de la obra está prácticamente definida y se deberá tener bastante cuidado en no ahogar a los veneros al efectuarse la recolección de los mismos, ya que la carga hidrostática que se origina con las estructuras puede invertir la dirección del afloramiento o el curso del venero.

A2. Cuenca hidrográfica de captación

Los datos que se deben de conocer para la determinación de la cuenca de captación son:

- Área y forma de la cuenca, pendiente predominante, configuración general.
- Corrientes principales.
- Cobertura en por ciento: tipos de vegetación, área cultivada, erosión, etc.
- Geología predominante en las zonas de la cuenca.
- Obras hidráulicas construidas y en proyecto aguas arriba y debajo de la futura obra de riego, vías de comunicación y poblaciones principales.

Los datos anteriores se emplean en los estudios hidrológicos que plantea una derivación, tales como la determinación del coeficiente de escurrimiento, el gasto de la avenida máxima probable, entre otros.

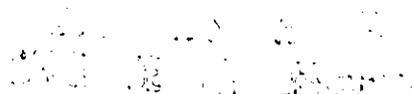
Generalmente para efectos de estudios preliminares se determina el área y la forma de la cuenca recurriendo a mapas, y de ser necesario, se rectifica o ratifica, según sea el caso, posteriormente con un levantamiento topográfico. En general se considera necesario hacer un levantamiento topográfico tratándose de cuencas pequeñas cuya extensión es difícil determinar en los mapas o cartas con la aproximación requerida.

A 3. Planos topográficos del sitio de derivación

Para poder proyectar la obra de derivación serán necesarios los siguientes datos topográficos:

- a) Plano de la topografía del tramo del río elegido para la derivación, en el cual se indiquen los ejes propuestos para la misma y se señalen los bancos de nivel y los puntos de apoyo de la topografía levantada. Es recomendable que este plano sea de escala 1:200.
- b) Perfil del eje propuesto para la obra y de otras secciones del cauce localizada en el mismo tramo del río a una escala conveniente para el proyecto.
- c) Perfil longitudinal del cauce del río, en un tramo de un kilómetro con el objeto de conocer con mayor aproximación la pendiente geométrica del cauce. Se sugiere contar con el perfil por el eje y ambas márgenes del fondo del cauce.

Es un hecho que el tiempo de construcción de grandes obras hidráulicas ha pasado, a pesar de que la tecnología en la materia sorprende con grandes estructuras muy sobresalientes y avanzadas; tal es el caso de las más recientes construidas en México, como las de Huites y Aguamilpa. Lo anterior se debe no sólo al agotamiento de los sitios posibles para su construcción (boquillas), sino



fundamentalmente a la escasez del agua. Para incrementar la superficie agrícola irrigada sólo se tienen dos opciones:

- El incremento de la eficiencia del uso del agua (se cuenta actualmente con una eficiencia no superior al 50 por ciento)
- El aprovechamiento de volúmenes considerados como excedentes.

El uso del agua con derivadoras artesanales es muy frecuente en pequeñas comunidades agrícolas, y cumplen una función muy importante en su producción. La consolidación de éstas actividades pueden constituir un elemento de suma importancia para el desarrollo agrícola a pequeña y mediana escalas, en donde las derivadoras jugarían un papel indispensable. Por ello se piensa que este tipo de estructuras, por sus características de costo, facilidad de construcción, etc. Pueden ser la solución para el aprovechamiento de excedentes del escurrimiento, esto es, extraer volúmenes que no necesariamente están comprometidos por usuarios aguas abajo.

Como se mencionó anteriormente en este trabajo, las presas derivadoras fueron la principal alternativa para extracción del agua antes de la construcción de las grandes presas de almacenamiento. Es posible que ahora sean la solución para problemas del suministro actual, en escala diferente al de las grandes obras. Habrá que establecer programas que replanteen estos aspectos y que busquen alternativas óptimas para su instrumentación (tipo de obra, tamaño, con almacenamiento asociado, etc.).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se han incluido diversos aspectos para explicar el funcionamiento hidráulico de las presas derivadoras, así como las estructuras que las componen y los tipos que existen en nuestro país.

La importancia de estas estructuras en el sector hidráulico de nuestro país es, aunque no lo veamos, muy grande. Es claro que las derivaciones que se hacen en los diversos ríos del país contribuyen al desarrollo agrícola y promueven una mayor producción.

Por otra parte, las estructuras de derivación artesanales juegan un papel de suma importancia, ya que éstas son la mayoría que se tienen en los ríos de México, aunque se desconoce su número exacto y en algunos casos, su funcionamiento. Esto puede dar pie a una serie de investigaciones encaminadas al mejoramiento del diseño y la operación de estas estructuras, a la revisión de los criterios con los cuales se construyen, así como el mejoramiento de los procesos y materiales utilizados.

Actualmente ya no se construyen grandes presas por el costo que representan, aunque de estas presas depende la mayor parte de las zonas irrigadas del país. Los sistemas de riego abastecidos con presas derivadoras son una opción viable, ya que las nuevas alternativas en el uso eficiente del agua se fundamentan en estructuras de dimensiones menores, de construcción rápida, de costos notablemente accesibles y de operación y mantenimiento sencillos.

Es análisis de los diferentes aspectos de las presas derivadoras conducen a la conclusión de que pueden ser la solución, en corto tiempo, a algunos problemas para la producción agrícola y las pugnas por la competencia del agua en comunidades rurales.

Para ello habrá que retomar los programas que hace ya más de 20 años se descuidaron, actualizando los inventarios, proponiendo nuevas estructuras acordes con la tecnología actual y a los problemas específicos y particulares, definiendo la necesidad real del uso de excedentes, además de definir si éstos realmente existen y pueden ser aprovechados.

Se trata, en última instancia, de hacer un uso racional del agua que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población, misión del ingeniero civil.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional del Agua. BOLETÍN DEL ARCHIVO HISTÓRICO DEL AGUA. Edición de Aniversario. Año 5, número 15, enero – abril 1999.
2. Palerm Viqueira, Jacinta. Martínez S., Tomás. ANTOLOGÍA SOBRE EL PEQUEÑO RIEGO. Volumen I. Colegio de Posgraduados. México. 1998.
3. Palerm Viqueira, Jacinta. Martínez S., Tomás. ANTOLOGÍA SOBRE EL PEQUEÑO RIEGO. Volumen II: Organizaciones Autogestivas. Colegio de Posgraduados. México. 2000.
4. Comisión Nacional del Agua. COMPENDIO BÁSICO DEL AGUA EN MÉXICO. México. Septiembre de 1999.
5. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Construcción. PRESAS DE DERIVACIÓN. México. 1976.
6. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. PRESAS DERIVADORAS CONSTRUIDAS EN MÉXICO. México. 1977.
7. Vega Roldán, Oscar. Arreguín C., Felipe. PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVACIÓN. UNAM. Facultad de Ingeniería. México. 1976.
8. Gardea V. Humberto. HIDRÁULICA DE CANALES. UNAM. México. 1997. Págs. 107 - 134.
9. Sotelo Ávila, Gilberto. HIDRÁULICA GENERAL. Volumen 1: Fundamentos. LIMUSA. México. 1995.

10. Oscar R. Plaisant Wong. Revista trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, Tláloc, Enero/Marzo 2000. Pág 9.
11. Comisión Nacional del Agua. LEY DE AGUAS NACIONALES. México. Diciembre 1992. Págs. 19 - 29, 36 - 48.
12. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Irrigación y Control de Ríos. PRESAS DE DERIVACIÓN. México. 1955.
13. Medina,G. y R. Sánchez Silva. Impacto Ambiental de las Obras Hidráulicas. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, SARH. Doc.No.17. México.1977. 70 pp.
14. Sánchez-Silva, R. 1999. Conservación e Impacto Ambiental en Tomatlán, Jalisco (23 años después). Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación (Simposio 4: Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas). Culiacán, Sinaloa, México. Octubre de 1999. PP. 83-90.