

CAPÍTULO 1

¿Qué es una presa?

Se describe la importancia de las presas para el aprovechamiento racional de los recursos hídricos. Luego de una breve referencia a conceptos básicos sobre la energía, se definen las formas y componentes de los aprovechamientos hidroeléctricos y la forma en que se conciben y construyen. Por último se brinda un panorama sobre la historia de las presas, sus tipos, antecedentes a nivel mundial y nacional, así como un recuento de las fallas de presas y sus consecuencias.

Recursos hídricos y energía

El agua en el mundo

El disponer de agua parece algo natural, pero ésta es escasa actualmente sobre la tierra. Y no tiene sustituto.

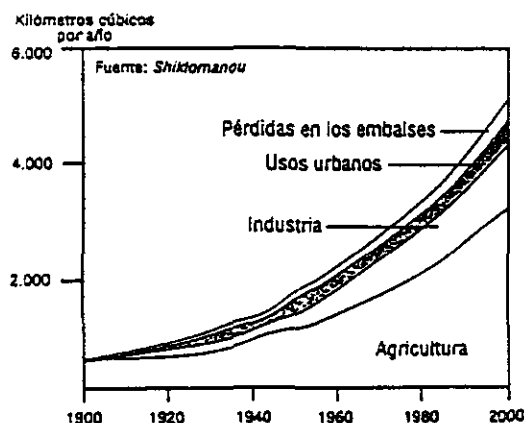
La mayor parte del agua en el mundo es salina. Tan sólo el 3% del total de agua del mundo es no salina, y de este porcentaje más de las dos terceras partes permanece en forma de hielo, nieve o agua subterránea. Esto quiere decir que entre el 0,5% y el 0,3% es renovable a través del ciclo de evaporación y precipitación. Y aún ésta, a menudo no está disponible donde y cuando se la necesita.

De manera aproximada puede decirse que el consumo de agua se duplica cada veinte años.

El riego para la producción de alimentos absorbe el 70% del consumo de agua del mundo. El 30% restante se utiliza como agua potable para las poblaciones y para propósitos industriales.

Agua y vida

El explosivo crecimiento demográfico y la consecuente mayor demanda y contaminación, conducen a que este recurso renovable - pero limi-



Estimación del consumo mundial de agua, total y por sectores, 1900 - 2000.

tado y resulta cada vez más escaso. Desde comienzos de este siglo el consumo mundial se ha incrementado diez veces, estimándose en la actualidad que se ubica en los 4.340 km³ al año, el equivalente a unas 200 veces el volumen almacenado en El Chocón o 120 años de aporte del caudal medio anual del río Negro (4 000 m³/seg).

Este fenómeno coloca al mundo ante la necesidad de encontrar mecanismos que permitan su explotación de la forma más racional posible.

Manejando el recurso vital

Siendo el agua el elemento clave para muchos aspectos de la vida - alimentación, salud, higiene, un medio ambiente equilibrado - el buen manejo de los recursos hídricos es crucial para el ser humano, para el desarrollo sustentable y la integridad ecológica y para nuestra supervivencia como especie. Lo cual representa un amplio, complejo e intimidatorio desafío.

Los costos pueden ser altos y los problemas técnicos formidables debido a que las intervenciones humanas pueden tener consecuencias imprevistas y porque el uso del agua incluye una infinidad de factores sociales y culturales. Y porque además el manejo del agua está fragmentado en diferentes autoridades que, en muchos casos, responden a legislaciones diferentes.

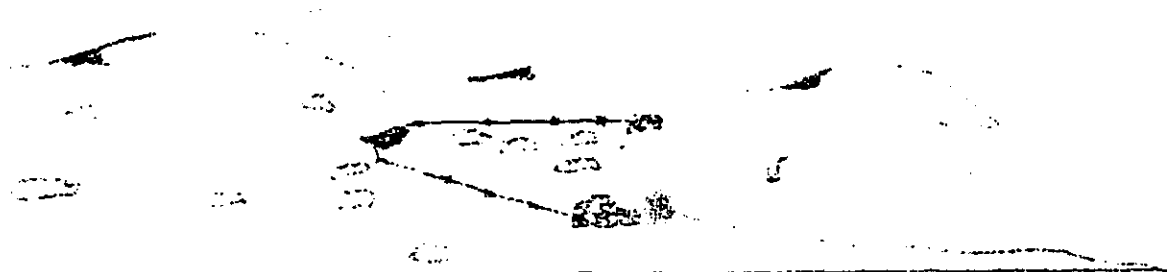
A pesar de todos estos problemas - costos, complejidades y fragmentación - la humanidad no tiene otra alternativa que desarrollar proyectos racionales y bien concebidos de aprovechamiento de este recurso vital para asegurar su supervivencia.

Los recursos hídricos y las presas

Debido a que generalmente no existe coincidencia entre los ciclos hidrológicos y las necesidades humanas, el hombre ha concebido elementos físicos que le permiten controlar las corrientes hídricas para adecuarlas a los distintos usos. Las presas constituyen estructuras altamente ligadas a estos conceptos. En algunos casos se construyen terraplenes de control de crecidas, en otros casos elementos de cierre frontal o lateral de cursos de agua a los que embalsan o regulan.

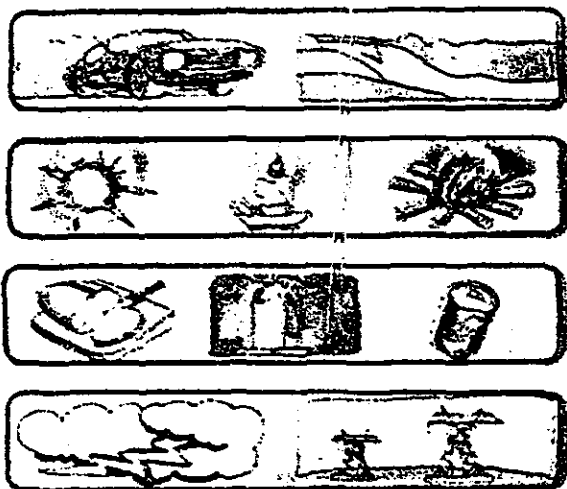
En todos los casos, las presas son concepciones del hombre pensadas para facilitar y propender a su bienestar. El fabuloso desarrollo de la tecnología ha permitido la construcción de grandes obras, en cuya decisión de ejecución se han debido sopesar ventajas y desventajas. Entre las primeras figuran sin duda las que resultan de su utilización sin modificación de sus propiedades. Entre las desventajas se inscriben aquellas que tienen que ver con la mayor o menor modificación del medio que introducen y el riesgo inherente que involucran.

No vamos a analizar aquí el acierto o no de la decisión de realizar las obras. Ella constituye el resultado del planeamiento estratégico, política de estado que obedece - y ha obedecido en el pasado - a circunstancias complejas fuera del alcance de este curso, aunque forman parte de nuestra herencia. Pretendemos sí adentrarnos en el conocimiento de las características de las presas, hacer un breve recuento de su existencia, de sus problemas y beneficios, adquirir un conocimiento básico de cómo se las protege y cómo puede actuar la comunidad aguas abajo ante su presencia.



Energía y medio ambiente

Toda actividad del ser humano conlleva una modificación del medio ambiente "natural", es más, las mismas fuerzas de la naturaleza muchas veces se conjugan para destruirlo o modi-



ficarlo. No podríamos acusar a una erupción volcánica, por ejemplo, de destruir el medio: sin embargo el daño que provocará a los elementos bióticos será superior al que le infringiría una población asentada en la misma superficie afectada. Es entonces que se concibe como aceptable una delicada relación de convivencia entre la naturaleza y sus cambios por un lado y la ocupación humana y su crecimiento por el otro, concepto al que en años recientes se le suele sintetizar como "desarrollo sustentable".

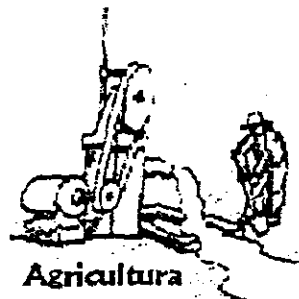
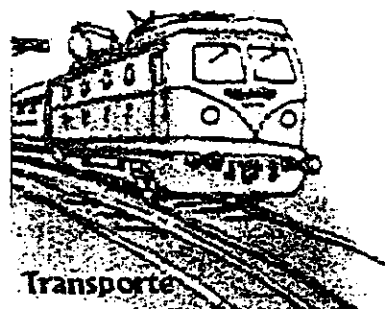
Hasta hoy se acepta como inescindible del desarrollo de la humanidad, la búsqueda de formas que transformen la energía para su provecho. También se acuerda en que el desarrollo sustentable constituye una visión racional para que ese crecimiento no termine con la humanidad misma, o por lo menos minimice sus efectos nocivos. Dentro de este contexto es conveniente analizar cuáles son los procesos posibles que mejor se adaptan al sostenimiento de este delicado equilibrio, y cuales son los riesgos que la propia sociedad está, o ha estado, dispuesta a aceptar a través del tiempo para satisfacer sus necesidades.

¿Qué es una presa?

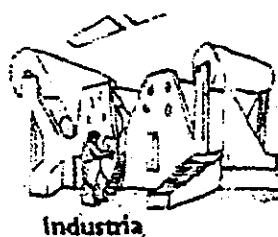
Usos de la energía

En general todas las acciones que realiza el hombre, desde su propio sustento, suponen un consumo de energía o, más precisamente, una transformación de una energía en otra.

¿Qué es entonces la energía? Simplificando podríamos decir que es aquello que permite que haya actividad.



Expresado en términos un poco más técnicos podría definirse la energía como la "capacidad para realizar trabajo". Los procesos industriales son su ejemplo más evidente, pero también la satisfacción de



las más elementales necesidades del hombre lo son.

Entre todos esos procesos nos interesa concentrarnos en los que abarcan la generación de energía eléctrica, es decir, un proceso industrial cuya finalidad es la de proveer una materia prima para otras actividades humanas: la electricidad.

¿Cómo se genera la electricidad?

Simplificando a un nivel meramente conceptual, la electricidad se obtiene al hacer girar un **arrollamiento de alambre conductor** alrededor de un **núcleo magnético**. Este dispositivo constituye lo que comúnmente se denomina **generador de electricidad**.

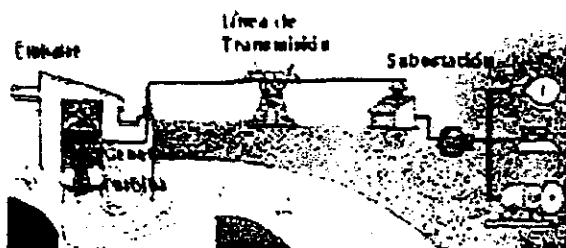
Hay que encontrar entonces un mecanismo o elemento que **actúe de impulsor** de ese **arrollamiento para hacerlo rotar**. A mayor tamaño del **arrollamiento**, mayor fuerza se necesitará para **moverlo** y mayor cantidad de electricidad producirá.

Cuando aún no existían los motores a vapor o de explosión, ya se utilizaba la fuerza del agua para hacer girar ejes que a su vez movían diversos elementos con distintas finalidades (mólinos, aserraderos, etc.), mediante **poleas y correas** transmisoras del movimiento.

Este principio se aplicó a la generación de electricidad utilizando enormes ruedas con **asas** las que dieron nacimiento a las primeras **turbinas hidráulicas**.

La energía hidráulica

Las centrales hidroeléctricas no contaminan ni **consumen** recursos no renovables y generan **electricidad** a un menor costo. En cambio pueden producir embalses que inunden amplias **zonas**, (en algunos casos reservas naturales) y pueden **modificar** el medio ambiente. En la actualidad resulta elevado el **costo financiero** para construirlas y, algunas veces, su construcción implica introducir un riesgo a la población aguas abajo. La potencia obtenida depende del caudal y la altura de caída.



Esquema de aprovechamiento hidroeléctrico

La energía térmica

Otra forma de producir electricidad es mediante el acoplamiento de una máquina a vapor perfeccionada a un generador eléctrico. A la energía producida de esta manera se la denomina **energía térmica**. Para ello es necesario alimentar esa "máquina a vapor" con algún combustible para provocar el calentamiento del agua y producir finalmente el vapor.

Constituyen fuentes de generación térmica por ejemplo las que provienen de quemar combustible **líquido** o **gaseoso**, **carbón**, **leña**, y también las **centrales atómicas**. Algunas de sus características son la de producir contaminación, consumir recursos no renovables, fomentar y/o favorecer la desertificación, configurar peligrosos enclaves en zonas pobladas o, aún cuando no sean pobladas, involucrar graves riesgos, como en el caso de las nucleares. Tienen la ventaja de su menor costo financiero por unidad eléctrica producida, su rapidez de instalación y la posibilidad de erigirla próxima a los centros de consumo, evitando los elevados costos del tendido de largas líneas eléctricas.

Los aprovechamientos hidroeléctricos

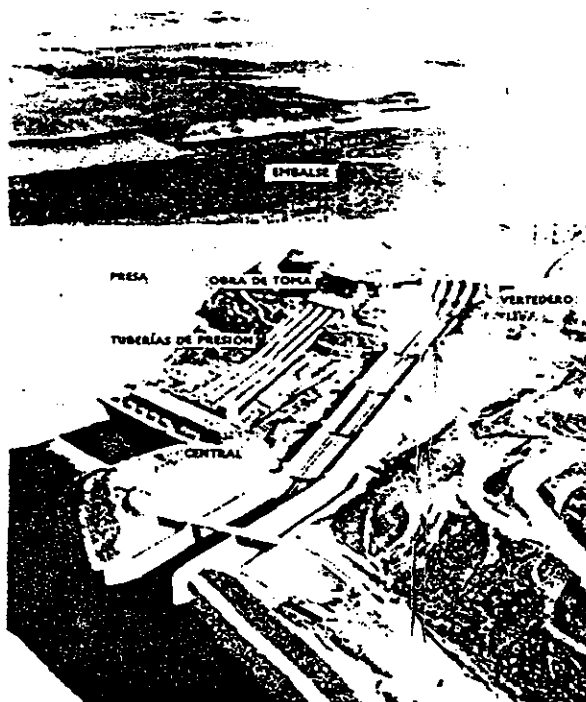
Corresponde a los planificadores la consideración de todos estos elementos para arribar a la difícil **elección** de uno u otro sistema que satisfaga la creciente demanda de energía en el mundo.

Obras que componen los aprovechamientos hidroeléctricos

La siguiente descripción pretende establecer conceptualmente la función de los principales órganos o elementos que integran un aprovechamiento, sin entrar en los detalles y distintas alternativas de sus particularidades técnicas.

Presa

Muro que permite detener la corriente y almacenar el agua.

**Embalse**

Acopio de agua, generalmente en grandes volúmenes, que se forma en la cuenca o vaso inmediatamente aguas arriba de la presa.

Central

Es la fábrica en la que se genera la energía eléctrica, aprovechando la energía potencial acumulada por el agua en el embalse. El agua convierte la energía potencial en energía cinética en las turbinas y éstas, a través de un eje solidario, movilizan los alternadores que generan la electricidad.

Vertedero o Aliviadero

Elemento que permite evacuar las crecidas extraordinarias que superan las que sirvieron para diseñar la presa, evitando que los mayores caudales la dañen.

Descargador de fondo

Es otro órgano evacuador que permite el vaciado parcial o total del embalse (por encontrarse a niveles inferiores a los del umbral del vertedero) o para descargar sedimentos acumulados en el fondo.

Obra de toma

Permite el ingreso controlado del agua a la central para movilizar las turbinas.

Tuberías de presión

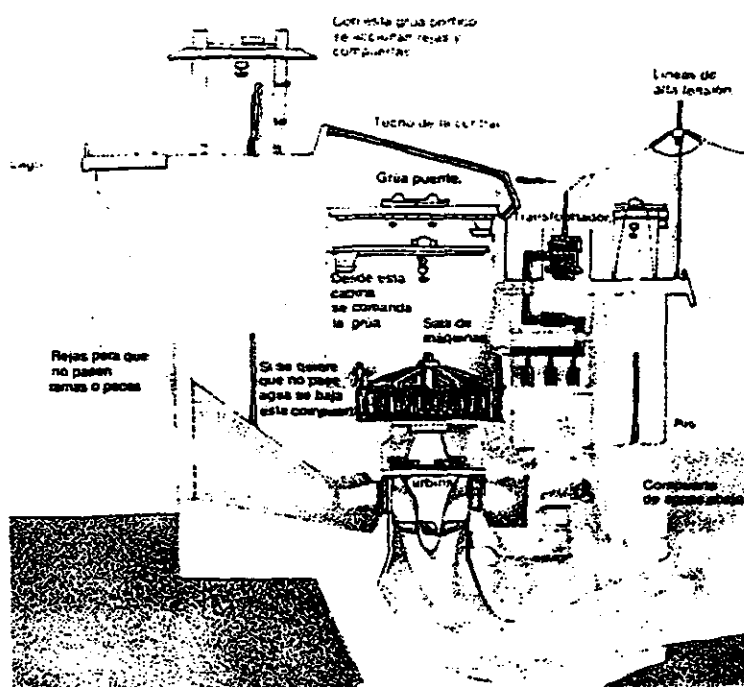
Tubos que conducen el agua desde la obra de toma hasta las turbinas dentro de la central.

Galerías

Según la magnitud y tipo de presas, pueden existir cantidades variables de túneles o galerías que las recorran por su interior o en sus adyacencias (fundaciones, estribos, etc.), pudiendo incluso construirse las mismas centrales en forma subterránea (centrales en caverna).

Estación transformadora y líneas de alta tensión

La energía generada es llevada hasta una playa de transformación en la que se eleva la tensión a los niveles requeridos para conducirla a gran-



Esquema de las partes de una central hidroeléctrica

des distancias a bajos costos. Este "transporte" de energía se realiza por medio de las denominadas líneas de alta tensión.

LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN



Etapas que llevan a la construcción de un aprovechamiento hidroeléctrico

El procedimiento que permite alcanzar la construcción de estas grandes obras, se desarrolla normalmente en periodos de tiempo muy grandes. Desde que se plantea su necesidad hasta que comienza su operación pasan muchos años, a veces varias generaciones. En general los pasos son los siguientes:

Necesidad: Analizados los requerimientos energéticos de una determinada región (un país, una provincia, a veces la instalación de una industria, etc.), se realiza una proyección de la demanda, es decir se estima cual será la cantidad de energía eléctrica que se requerirá en el futuro, y luego se estudian todas las alternativas para satisfacerla. Si de ese estudio surge como solución posible para cubrir la necesidad la construcción y operación de un aprovechamiento hidroeléctrico, se pasa al siguiente paso, cual es verificar cuáles son las posibles soluciones técnicas.

Inventario: El inventario consiste en el relevamiento de todos los sitios con condiciones naturales convenientes para estudiar las soluciones técnicamente posibles, independientemente de la factibilidad de su realización actual. Es como si se tuviera una carpeta con todas las posibilidades para, en el futuro, incorporarlas paulatinamente al parque generador, luego de un análisis lógico que determine su mejor aptitud para satisfacer una determinada demanda con eficiencia y economía.

Prefactibilidad: Previamente a realizar el análisis de cada una de las posibilidades que se han detectado, se aplica una especie de filtro, en el que para cada una de ellas se determina, a grandes rasgos, sus aptitudes para competir técnica y económicamente.

Factibilidad: La factibilidad consiste en el paso que coloca a un proyecto en condiciones de solicitar la financiación. Ésta se obtiene bajo la forma de un cierto cronograma de desembolso que en conjunto configuran uno o varios créditos, en general internacionales. Cada parte del proyecto desde aquí en adelante crea una obligación para quien lo contrae, y su devolución depende de la concreción y rentabilidad del mismo proyecto. Es decir que durante un cierto período parte de los ingresos económicos producidos por la venta de energía se destinan a restituir la inversión realizada, con un margen de rentabilidad adicional.

Anteproyecto: Se definen aquí las características fundamentales del proyecto. Se selecciona el emplazamiento definitivo de la obra, se diseña el conjunto, se estudia su funcionamiento, el impacto ambiental y socio-económico que provocará, se computan los insumos de materiales, maquinarias y personal que requerirá y se calcula su costo aproximado.

Proyecto ejecutivo: Se estudia cada una de las partes en detalle, se determinan formas, tamaños, materiales, tipo de equipamientos, características de potencia y energía y se realizan precisiones sobre el presupuesto final.

Licitación: Sobre la base del proyecto ejecutivo, se confeccionan los pliegos de licitación. En ellos se incorporan los requerimientos de experiencia, capacidad técnico-económico-legal que deben reunir los oferentes, quienes deben, no solamente exponer cuales son los precios que solicitan para cada uno de los múltiples ítem que integrarán el contrato, sino también demostrar que tienen la capacidad para realizar semejante obra. En general se cuenta con varios contratistas cuyas especialidades están bien definidas: obra civil, proveedores de turbinas, generadores, equipos auxiliares electromecánicos, proveedores de las compuertas y válvulas, constructores de las estaciones transformadoras y de las líneas de

transmisión. Contratistas de las obras auxiliares como la villa donde se alojará el personal que trabajará en la construcción de la obra, los de los caminos y accesos y otros servicios y los consultores que cubrirán las funciones de directores de obra.

Construcción: Adjudicados los distintos contratos, se comienzan las obras, las que se ajustan a un cronograma que normalmente abarca varios años con fechas claves muy precisas, establecidas en función de optimizar costos y aprovechar los períodos de construcción que permiten los ciclos de la naturaleza.

Operación: Concluidas las obras y luego de haber pasado los períodos de las distintas pruebas, el dueño o quien éste designe, comienza la producción de energía. Este proceso verdaderamente industrial se realiza dentro de exigentes normas de manejo del recurso hídrico y sujeto a los lineamientos del mercado eléctrico nacional. Como veremos luego, el operador está obligado al cumplimiento de estas normas de acuerdo a sus compromisos contractuales, debiendo responder a las regulaciones que le impongan diversos organismos específicos (en el caso de los de la zona por ejemplo, ENRE, AIC, ORSEP Comahue, CAMMESA, Estado Nacional).

Las presas

Para hacer sencilla su comprensión, simplificaremos la definición de presa y adoptaremos la siguiente:

Una presa es una estructura que se interpone a una corriente de agua para embalsarla y/o desviarla para su posterior aprovechamiento o para proteger una zona de sus efectos dañinos.

Usos de una presa

La producción de electricidad no es la única finalidad de las presas. Estas estructuras se construyen también con otros objetivos. En la región existen ejemplos de usos alternativos. El Dique Ing. Ballester por ejemplo, fue conce-

bido para desviar las crecidas del río Neuquén a la cuenca Vidal, actual Lago Pellegrini, y para iniciar el sistema de riego del Valle inferior de ese río y del Alto Valle del río Negro. En la provincia de Río Negro, en Allen, Guerrico y General Roca, existen importantes diques de contención para proteger a dichas localidades de los aluviones que se producen con lluvias significativas. En la ciudad de Neuquén se han construido sistemas de pequeños diques que evitan los aluviones que se producían como consecuencia de la erosión de la barda. En el pasado se construían - y se continúa haciéndolo actualmente -, protecciones en las márgenes de los ríos de la región con el objetivo de evitar que el río las erosione, constituyendo verdaderas presas pequeñas.

Los objetivos para los que las obras del Comahue fueron ideadas incluyen el control de crecidas y la regulación, permitir la incorporación de mayor superficie para el riego y la generación hidroeléctrica. Es notable el efecto protector que el sistema de presas ha logrado durante los últimos años. Puede mencionarse en particular la crecida del año 1972 del río Neuquén cuando la presencia del incipiente complejo Cerros colorados, evitó que un caudal de 5.000 m³/s provocara daños a las ciudades ribereñas. Sobre el río Limay, desde la construcción de El Chocón, se han controlado algunas crecidas de importancia (como las de 1979, 1981, 1984, 1993), que alcanzaron caudales de entre 3.500 y 4300 m³/s.

La generación de hidroelectricidad del Comahue alcanza en estos momentos (hasta la incorporación de Yaciretá) a cubrir la cuarta parte de la generación total del país, produciendo importantes regalías a las provincias de la región. No han podido incorporarse nuevas tierras al riego, pudiendo atribuirse más a la coyuntura económica que afecta la rentabilidad de este tipo de emprendimientos que a las posibilidades técnicas de lograrlo. En cambio sí se han generado otros usos tales como la recreación (lagos Los Barreales y Mari Menuco) y la piscicultura (embalse del dique Alicurá y, recientemente, en Piedra del Águila), como así también la construcción de la Planta Industrial de Agua Pesada en Arroyito (PIAP) como otro ejemplo de uso industrial.

Historia de las presas

Las más antiguas

No se conoce a ciencia cierta desde cuando data la construcción de la presa más antigua. Todo intento por ubicar con precisión la existencia de una obra ha resultado vano más allá de los 5000 años antes de Cristo. Se estima que los primeros intentos pueden ubicarse alrededor de 5.000 años A.C. Existen indicios de obras surgidas en Babilonia, Egipto, India, Persia, Lejano Oriente. De hecho los pueblos que las ~~construyeron~~ ya han desaparecido, en parte producto de la desaparición de las mismas obras que dieron origen a sus sistemas de riego y, por lo tanto, a sus asentamientos.

El destino de estas obras ha sido fundamentalmente la utilización del agua para riego y el control de las crecidas. Los materiales utilizados han sido suelos y gravas colocados con escaso conocimiento técnico, dando en muchos casos como resultado obras de corta duración, aun cuando se tratara de construcciones de escasa envergadura.

Según el historiador Herodoto, el primer Faraón de Egipto, Menes, ordenó la ejecución de trabajos de irrigación con aguas del río Nilo. Para ello hacia 4.000 A.C. se habría construido sobre el río Nilo, en Kosheish - unos 20 km aguas arriba del emplazamiento elegido para la ciudad de Menfis -, una presa de mampostería de 15 m altura y 450 m de coronamiento. Una leyenda dice que esta presa sirvió para desviar la corriente del río con fines estratégicos. En Egipto existen otros ejemplos de presas de las cuales aun hoy pueden notarse sus ruinas, tal el caso de Sand el-Kahira, ubicada a 32 km. al sur de El Cairo, que habría sido construida para llevar agua a los obreros que trabajaban en las canteras.

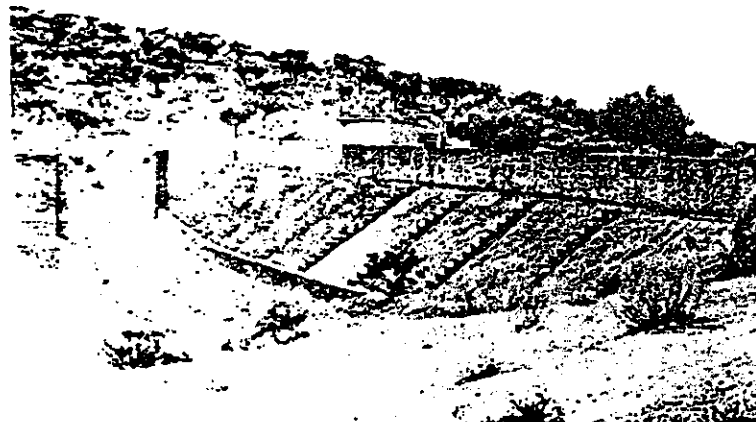
Es notable destacar los métodos de trabajo, basados en el transporte del material en canastos, y su rudimentaria compactación debido al mismo pasaje de los obreros sobre el suelo volcado. Tal lo realizado en obras en Ceylán e India.

No sería posible obviar de este sucinto recuento, los trabajos realizados en la Mesopotamia, donde no podemos menos que asombrarnos al leer las descripciones de obras de dimensiones que aun hoy nos llenan de admiración, entre ellas los famosos jardines colgantes de Babilonia.

Podría decirse que de todas las antiguas civilizaciones han quedado evidencias de grandes obras de irrigación las que, además de mostrar imponentes canales e inteligentes soluciones, guardan restos de las presas que han servido para desviar o contener esos cursos de agua. También es probable que muchas de estas civilizaciones hayan desaparecido como consecuencia de la falla de estas presas, las que inutilizaron los laboriosos sistemas de aprovechamiento y convirtieron las tierras nuevamente en desiertos. Algunas han sufrido fallas debidas a los sistemas de diseño o construcción utilizados, otras por abandono o declinación de la misma civilización que les dio origen. En casos las fallas han devenido luego de centurias de servicios que permitieron el desarrollo de esos pueblos.

Pocos años antes de Cristo, el desarrollo y crecimiento del imperio romano, permitió llevar los conocimientos de sus constructores hidráulicos a varios lugares de Europa. Son notables los trabajos realizados en España y, algo menos, en Francia. En España puede

Presa de Cornalbo (España)

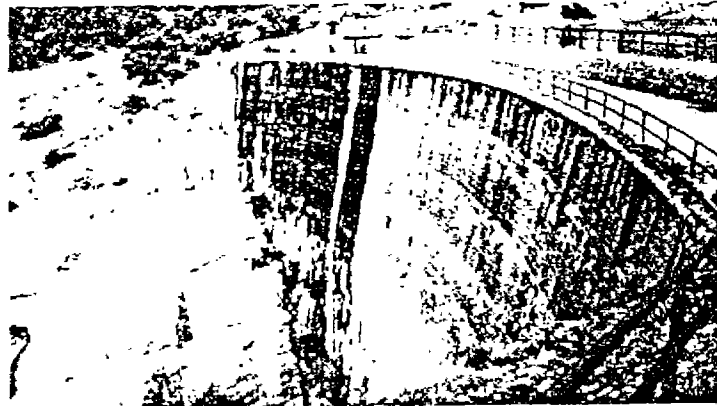


mencionarse que, casi 2000 años luego de su concepción, se mantienen aún en pie las presas de Proseipina (19 m de altura) y Cornalbo (24 m de altura). Otras obras construidas durante su imperio duraron muchos años, como por ejemplo la presa de Subiaco a 50 km al este de Roma, construida durante el emperador Nerón y utilizada durante 1300 años. En Libia, Turquía, Persia, Siria, etc., han quedado muestras de presas construidas por este poderoso imperio. Estas obras han sido diseñadas buscando la provisión de agua, protección contra aluviones, la decantación en ríos con altos contenidos de materia transportada, etc.

En el Medievo, junto con el estancamiento general de la civilización, el interés por los aprovechamientos hidráulicos disminuye y solo se construyen presas pequeñas destinadas a usos secundarios tales como mover ruedas de molinos. El Renacimiento significó un nuevo empuje a la construcción de presas, aunque sobre una base empírica que condujo muchas veces al fracaso de las obras.

Durante varias centurias las presas fueron construidas sin perseguir ningún cuidadoso análisis de los criterios de diseño. Es así que sus alturas fueron pequeñas y la capacidad de sus embalses fue suficiente mientras no se produjeron crecidas que superaran las registradas en vida de sus constructores. Incluso en algunos casos, luego de muchos años de funcionar, algunas han sufrido recrecimientos que les permitieron soportar crecidas aún mayores. Las alturas alcanzadas por entonces no superaban los 25 m.

A mediados del siglo XIX, las presas de mampostería tuvieron un importante avance debido al desarrollo de herramientas científicas, famosos descubrimientos como el de las leyes generales de la física y los estudios realizados por algunos ingenieros y científicos como W. Rankine en Inglaterra y M. de Sazilly en Francia. Este impulso permitió incrementar la altura de las presas y perfeccionar los análisis estructurales, comenzando a construirse presas de gravedad - como la presa de Gouffre d'Enfer



Presa de Zola (Francia)

de 60 m de altura - y aún en arco, como la presa de Zola en Francia que todavía sigue en pie. Esta última, terminada en 1854, es una obra de mampostería de piedras cortadas, de 42 m de altura, un ancho de 6 m en el coronamiento, 13 m en la base y una longitud de 66 metros.

Durante la última mitad del siglo pasado comenzó a desarrollarse también la construcción de presas en los Estados Unidos, sobre todo por el impulso de la conquista del oeste y la fiebre del oro. Paralelamente las grandes potencias europeas trasladaron la construcción de este tipo de obras a sus colonias de ultramar, dando lugar a emprendimientos en lugares como Argelia o la India. La falla de algunas de estas presas intensificaron los estudios sobre el cálculo estructural, los materiales y aspectos constructivos de las presas.

En el siglo XX

El comienzo del Siglo XX, marcó una explosiva carrera de records para muchos aspectos de la técnica y del conocimiento. Las presas no han sido la excepción. A la sombra de los descubrimientos de nuevos materiales, nuevos procesos de cálculo y técnicas constructivas, se desarrolló la ingeniería de presas permitiendo, sobre todo en los Estados Unidos, la aparición de las "grandes presas" caracterizadas por alturas que desde comienzos de la centuria han ido superando los 100 m. Comienza a utilizarse el hormigón en masa, se construyen presas en arco sumamente esbeltas, utilizándose equipamientos que el avance paralelo de otras ramas de la industria fueron proveyendo.



el desarrollo eléctrico que da origen al surgimiento de los aprovechamientos hidroeléctricos. La producción de energía en grandes cantidades y la posibilidad de su transporte entre puntos muy distantes, permite que la potencialidad de los ríos de caudales significativos sea aprovechada para generar energía eléctrica y llevarla a los centros de producción industrial y a las ciudades.

El lento crecimiento de la construcción de presas desde el comienzo de la historia humana, basado en el método de la prueba y el error, se ha transformado vertiginosamente durante el siglo XX. El arte se transformó en ciencia. Los errores cometidos sirvieron para consolidar el conocimiento del comportamiento de las estructuras. Análisis teóricos combinados con el juicio práctico de experimentados ingenieros, las matemáticas y la mecánica de los materiales, comenzaron a apuntalar fuertemente el desarrollo de diseños mas seguros.

En Argentina

En Argentina existen 107 grandes presas registradas, algunas de las cuales han sido construidas en las primeras décadas de este siglo. De este total, 10 superan los 100 m de altura y sólo Piedra del Águila tiene más de 150 m de altura.

Durante muchos años se ha ido gestando una ingeniería especializada, en particular basada en emprendimientos nacidos en empresas del estado como Agua y Energía Eléctrica e Hidronor S.A. La construcción de las Grandes Presas adquiere impulso desde fines de la década del '60, con la construcción el Complejo El Chocón-Cerros Colorados. A partir de allí han seguido grandes aprovechamientos nacionales y binacionales que aportan el 40 % de la generación total de energía. Muchos de ellos han sido



Presa El Chocón
(Argentina)

construidos en los ríos de nuestra región, contribuyendo actualmente con el 25 % de la generación eléctrica total del país.

En el mundo

En todo el mundo deben existir más de 150.000 presas. Un informe realizado por el Comité

Internacional de Grandes Presas (ICOLD por sus siglas en inglés), realizado en el año 1968 revela-

Distribución de
presas por su
altura en el mundo

Altura en m. entre	Número de presas	%
15 - 30	28.546	78.79
30 - 60	8.031	16.64
60 - 100	1.247	3.44
100 - 150	321	0.88
150 - 200	64	0.18
> 200	26	0.07

ba el registro de 36.235 presas, con la distribución por alturas que se muestra en la tabla:

Las 10 presas más altas del mundo pueden verse en el cuadro siguiente.

Nombre	País	Tipo	Altura
Rogun	USSR	Tierra	325
Nurek	USSR	Tierra	300
Grande Dixence	Suiza	Gravedad	285
Ingur	USSR	Arco	272
Chicoasen	México	Escollera	265
Valont	Italia	Arco	265
Tenn	India	Escollera	261
Kinshaw	India	Tierra/Escollera	253
Mica	Canadá	Tierra/Escollera	242
Sayano-Shushensk	URSS	Arco	242

Las presas más altas en el mundo

La presa de mayor volumen es la de Tarbella (Pakistán) construida en 1976 de 143 m de altura y 148,5 Hm³, equivalente a un paralelepípedo que tuviera una superficie de 500 manzanas con una altura similar a la de un edificio de 10 pisos.

El embalse artificial más grande es el que se produjo al concluir la presa de Owen Falls (Uganda) en el año 1954, con 204.800 Hm³, un volumen similar a 10 veces el del lago Exequiel Ramos Mejía de la presa El Chocón.

Puede mencionarse como ejemplo notable que países tan pequeños como España cuentan con más de 1000 presas. China tiene alrededor de 18.000 la mayoría de las cuales son de alturas inferiores a 15 m. Muy pocas en el mundo superan los 100 m de altura y solo algunas los 200 m. de altura.

Esquema de una presa de Materiales Suelos —

Tipos de presas

De la definición de presa que hemos adoptado, se desprende que las presas son estructuras cuya razón de ser se funda en la condición de que el agua que retienen se utilice con dos finalidades alternativas o simultáneas:

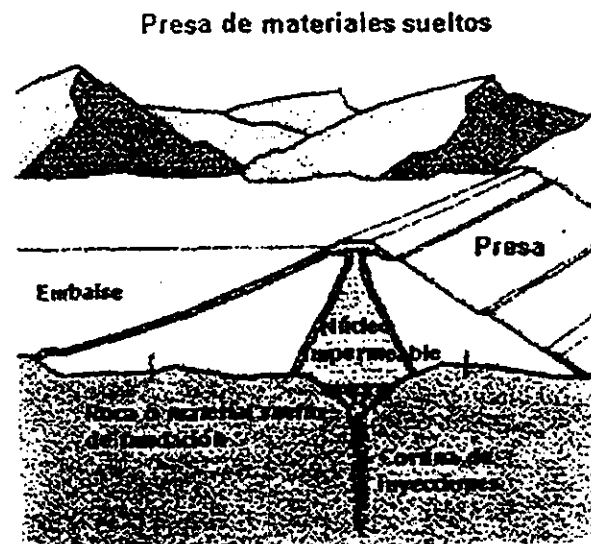
- elevar su nivel para poder conducirla
- formar un depósito que retenga los excedentes hídricos, para poder compensar luego los períodos de escasez, o para amortiguar (laminar) las crecidas.

Esa condición de producir un embalse, hace que el agua retenida ejerza un empuje de gran entidad sobre la estructura, siendo ésta la mayor sollicitación para la que debe diseñarse la obra. La otra característica básica, es que el agua penetra en todos los intersticios provocando presiones indeseadas dentro de la misma estructura, las que deben ser localizadas para diseñar la presa de manera que pueda resistirlas.

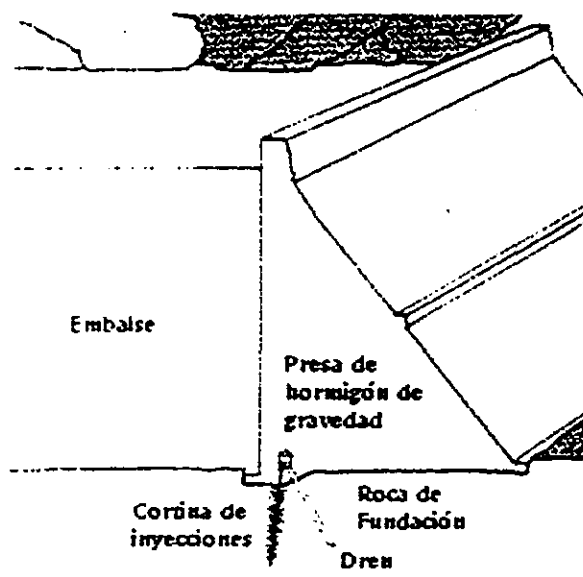
De este análisis resulta la forma y materiales que el proyectista considera más aptos para cada caso.

Presa de materiales sueltos

Son aquellas en las que materiales provistos por la naturaleza no sufren ningún proceso químico de transformación, siendo tratados y



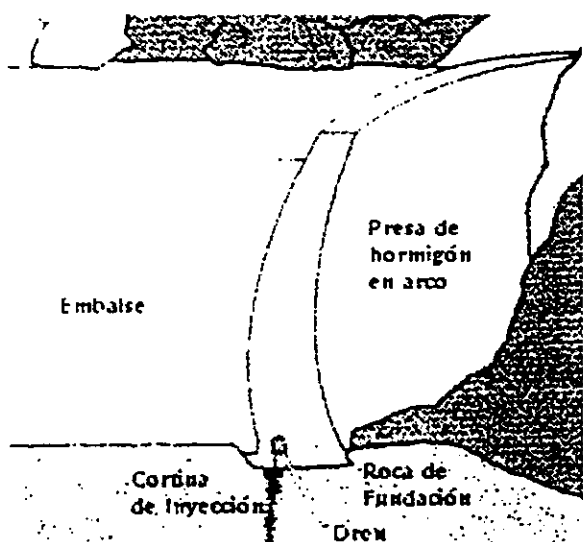
prensados mediante procedimientos de **compactación** propios de la mecánica de suelos. En su composición intervienen, piedras, **gravas**, arenas, limos y arcillas, siendo denominadas como presas de escollera cuando más del 50% del material está compuesto por **piedra** y presas de tierra cuando son materiales de



Esquema de presa de hormigón de gravedad

granulometrías más pequeñas.

Cuando todo el material que componen las presas de materiales sueltos tiene las mismas **características**, se denominan homogéneas, pudiendo tratarse de materiales más o menos impermeables. O bien pueden ser heterogéneas,



Esquema de presa de hormigón en arco doble

que son las más comunes, cuando se colocan diferentes materiales zonificados, con núcleo impermeable y materiales más permeables a medida que nos alejamos del centro de la presa. La impermeabilidad puede lograrse también mediante pantallas o diafragmas. Estas variantes pueden presentarse mediante configuraciones que se integren con distintas participaciones de las diversas características mencionadas.

Tipo de presa	Cantidad	%
Tierra	28.131	77.6
Escollera	1.843	5.1
Gravedad	4.180	11.5
Contrafuertes	348	1.0
Arco	1.733	5.3

Distribución por tipo de presa en el mundo

Presa de gravedad

Las Presas de gravedad pueden ser macizas o aligeradas. De estas últimas las más conocidas son las de contrafuertes verticales que se unen hacia aguas arriba para "sostener" el agua y recibir su empuje.

Presa en arco

Las presas en arco pueden ser de curvatura horizontal o de doble curvatura conocidas como bóveda o cúpulas.

Presas de fábrica

En general se trata de presas de hormigón, en cuya composición interviene cemento, piedras, gravas y arenas, en proporciones variables según el tipo de estructura y las partes de las mismas que se trate.

Aunque las presas de gravedad pueden ser de hormigón o de materiales sueltos, suele denominarse de gravedad a las primeras. Las presas de arco como son sumamente esbeltas y trabajan por forma son de hormigón.

Fallas de presas

Si bien el promedio de construcción de embalses a escala mundial ha sido durante la última década solo de 170, contra 360 anuales entre 1951 y 1977, puede afirmarse que el número de presas, su altura y la cantidad de agua almacenada se ha incrementado explosivamente en el mundo. Por ejemplo, en Estados Unidos en 1900 eran 116 la cantidad de presas que superaban los 10 m de altura y un volumen de 100.000 m³. El mismo tipo de presas en 1962 era de 2.635. Antes de la Segunda Guerra solo 11 presas superaban los 100 m de altura en todo el mundo, mientras que hoy existen más de 400 presas de ese tipo. Para demostrar la vertiginosa escalada que ha tenido este tipo de emprendimientos puede mencionarse que de las 45 presas más altas existentes en el mundo, solo 3 han sido construidas con anterioridad a 1960.

AÑO	Número aproximado de fallas significativas
Fecha desconocida	10
Antes de 1900	38
1900 - 1909	15
1910 - 1919	25
1920 - 1929	33
1930 - 1939	15
1940 - 1949	11
1950 - 1959	30
1960 - 1965	25
1965 - 1980	8
Total	210

Fallas de presas a través del tiempo

De igual manera que sucede en otras ramas de la ciencia y la técnica, las obras de ingeniería de presas han crecido durante el presente siglo en audacia y magnitud. Al mismo tiempo, debido a que los sitios que propone la naturaleza para la ubicación de las obras son limitados, se cuenta con una menor disponibilidad de emplazamientos aptos ó, dicho de otra manera, existe una

menor aptitud de los emplazamientos disponibles

Esta situación hace que los desafíos sean cada vez mayores y las técnicas deban desarrollarse rápidamente para encontrar los caminos que permitan aprovechar inferiores condiciones de

fundación, menor disponibilidad de materiales, zonas menos accesibles y mayor cuidado para proteger el medio ambiente e impactar en las zonas pobladas. Paralelamente, puede decirse que la cantidad de fallas de presas presenta una marcada tendencia a disminuir.

En la tabla pueden verse las fallas registradas desde comienzos del siglo XX según un informe del ICOLD.

Desde 1980 a la fecha el registro de fallas significativas ha disminuido sensiblemente.

Puede estimarse que existen en el mundo más de 150.000 presas que constituyen peligros potenciales, pudiendo algunas de esas obras comportarse de manera diferente a como han sido diseñadas. Desde el siglo XII D.C. puede asumirse groseramente que las fallas deben haber sumado unas 2.000. Durante el siglo XX han superado las 200 estimándose que han ocasionado alrededor de 8.000 víctimas fatales.

En algunos casos los resultados se han debido a la falta de atención de las autoridades, tanto en el diseño y construcción como en la revisión periódica y ordenada de su comportamiento. En otras oportunidades los resultados catastróficos se han debido a la falta de concientización y preparación de la población para actuar al presentarse la emergencia. Han existido fallas de extraordinaria importancia por su magnitud que han provocado muy pocas víctimas debido a la actuación ordenada y a tiempo de funcionarios y población. Tales han sido los casos de Baldwin Hills y Teton Dam en Estados Unidos. En el otro extremo, fallas anunciadas con suficiente antelación encontraron una población indefensa por su falta de preparación para enfrentar la emergencia, sistemas de comunicación y/o evacuación incompetentes o que fallaron, resultando en una catástrofe de gravísimas consecuencias.

En nuestro país la falla más reciente y también la más significativa fue la de la presa de Frías la provincia de Mendoza, ocurrida en el año 1970 con una pérdida de 42 vidas humanas y daños materiales.

En la tabla siguiente se indican las pérdidas de vidas humanas resultantes de algunas fallas de presas de las que se tienen registros.

RESUMEN

PRESA	PAIS	AÑO DEL DESASTRE	VIDAS PERDIDAS
	India	1979	2000
	Bolivia	1626	Estimado 4000
	India	1963	2600
	Estados Unidos	1885	2209
	India	1961	Desconocido
	Brasil	1960	Estimado 1000
	España	1802	608
	Malasia	1961	600
	Italia	1923	600
	Estados Unidos	1928	450
	Francia	1959	421
	Corea del Sur	1961	250
	Colombia	1963	250
	Inglaterra	1864	238
	Argelia	1881	209
	Indonesia	1967	200
	Estados Unidos	1890	150
	Rusia	1961	145
	España	1959	144
	Estados Unidos	1874	143
	Estados Unidos	1972	125
	China	1882	Más de 100
	Italia	1935	Más de 100
	Francia	1895	Más de 100
	India	1967	100
	Bulgaria	1966	96
	Estados Unidos	1911	80
	Checoslovaquia	1916	65
	Argentina	1970	42
	Estados Unidos	1916	30
	Suiza	1978	24
	Gales	1925	16
	Estados Unidos	1976	11
	Estados Unidos	1963	5
	India	1917	Desconocido

Perdida de vidas debidas a fallas de presas

Ignorar las posibilidades de ocurrencia de un problema es irresponsable. Exagerarlas también lo es. Está en todos nosotros, los que tenemos la *responsabilidad directa* y los que habitando aguas abajo convivimos con el problema. asumirlo con *responsabilidad* y madurez.

Desde siempre la Civilización ha utilizado los beneficios que le brinda el agua. El desarrollo cultural y la incorporación de un creciente dominio de nuevas tecnologías tiende a optimizar el uso de todos los recursos, incluido el hídrico. Parece imposible detener el desarrollo socio-económico, pero es evidente que la explotación incontrolada de los recursos naturales los afecta y puede llegar a extinguirlos. Resulta pues imprescindible lograr el equilibrio entre el desarrollo y la utilización de los recursos naturales.

Los aprovechamientos hidráulicos también han acompañado al Hombre en forma progresiva desde el comienzo de la historia y también su crecimiento produce afectaciones a las reservas de agua y al entorno. Sin embargo, este tipo de aprovechamientos presenta ventajas comparativas con respecto a otros, pues tiende mejor al necesario equilibrio antes expresado. Queda por incorporar en forma definitiva, individual y colectivamente, el concepto de desarrollo sustentable.

Hemos visto la historia, características técnicas y usos de las presas y los aprovechamientos. Hemos compartido estadísticas que indican la potencialidad destructiva de las presas. En adelante debemos asumir nuestras responsabilidades con respecto a una realidad que, *impuesta o no*, nos alcanza a todos quienes vivimos aguas abajo de las presas.