



Universidad Nacional de Misiones

CÁTEDRA DE OBRAS HIDRÁULICAS (CI457)

Ing. José A. Serra

Obras Hidráulicas – Ingeniería de Presas
Ing. José A. Serra

INGENIERÍA DE PRESAS

Definición:



Una de las **primeras y principales actividades de la ingeniería civil es la construcción de presas.**

Todas las grandes civilizaciones se han caracterizado por la construcción de embalses de almacenamiento para suplir sus necesidades, en las primeras épocas para satisfacer las demandas de irrigación surgidas del desarrollo y expansión de la agricultura organizada. Al operar en las condiciones de restricción impuestas por **circunstancias locales, especialmente de clima y topografía**, el poderío económico de las civilizaciones sucesivas estaba ligado a la experiencia y conocimientos en materia de ingeniería de recursos hidráulicos.

INGENIERÍA DE PRESAS

En un **CONTEXTO INTERNACIONAL**, la utilización apropiada y oportuna de los recursos hidráulicos sigue siendo una de las contribuciones más vitales del ingeniero civil a la sociedad.

La construcción de presas representa una inversión mayor en la infraestructura básica de todas las naciones. La **tasa de finalización** de la construcción de presas de todos los tamaños continúa en permanente expansión en muchísimos países, incluidas algunas de las naciones más industrializadas.

Cada presa es una estructura única. Independientemente de su tamaño y tipo, su respuesta a las cargas y su relación interactiva con la hidrología y geología del sitio son de gran complejidad. Por esto, y como reflejo de la naturaleza más o menos indeterminada de muchas de las variables de diseño más importantes, la ingeniería de presas no es una ciencia formal y definida. Tal como se practica, es una actividad de gran especialización que se nutre de muchas disciplinas científicas y las equilibra teniendo en cuenta un elemento bastante importante: el criterio ingenieril. **Por tanto, la ingeniería de presas es un campo con grandes retos y esfuerzos.**

FILOSOFIA ESTRUCTURAL

El propósito principal de una presa puede definirse como el de proveer retención y almacenamiento de agua de una manera segura.

Si los efectos de la sedimentación o limitaciones similares, dependientes del tiempo en su utilidad operacional, no se toman en cuenta, no hay un periodo de diseño estructural nominal para las presas.

Como corolario de este hecho, cualquier presa debe representar una solución de diseño específica para las circunstancias del lugar.

Por tanto, el diseño debe representar un **equilibrio óptimo** entre las **consideraciones técnicas locales y las económicas** en el momento de la **construcción**.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Los embalses se pueden clasificar fácilmente de acuerdo con su propósito principal, es decir, irrigación, suministro de agua, generación hidroeléctrica, regulación de ríos, control de inundaciones, etc.

Los **tipos de presa** son numerosos. Dependiendo de los principales materiales de construcción utilizados, es posible hacer una amplia clasificación inicial en **dos grupos**.

1)- **Presas de relleno** que se construyen con terraplenes de suelos o enrocados. Las pendientes de los paramentos aguas arriba y aguas abajo son similares y con un ángulo moderado, lo que produce una sección ancha y un volumen de construcción grande con respecto a su altura.

2)- **Presas de concreto** que se construyen con concreto macizo. Los taludes de los paramentos son diferentes, en general muy fuertes aguas abajo y casi verticales aguas arriba. Estas presas tienen perfiles relativamente esbeltos según el tipo.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Las **presas de relleno** son más numerosas debido a razones técnicas y económicas, y representan alrededor de **90% de todas las presas construidas**.

Son más antiguas y de concepción estructural más simple que incluso las primeras presas de mampostería; utilizan materiales disponibles localmente y sin tratamientos.

A medida que fueron evolucionando, las presas de relleno fueron demostrando su adaptabilidad a una gran variedad de sitios y circunstancias.

En contraste, las **presas de concreto** y sus predecesoras en mampostería son más exigentes en cuanto a las condiciones de cimentación (fundación).

Históricamente, también han demostrado que dependen de habilidades de construcción más especializadas y costosas.

ICOLD



¿Qué es la ICOLD?

La **Comisión Internacional de Grandes Presas** (International Commission on Large Dams – ICOLD), es una ONG internacional que provee un foro para el intercambio de conocimientos y experiencias en ingeniería de presas.

Esta Organización dirige sus acciones a asegurar que las presas sean construidas de manera segura, económica y sin provocar efectos perjudiciales al medio ambiente.

Fue creada en 1928 y cuenta con 90 países miembros y más de 10.000 miembros individuales, entre los que se cuentan ingenieros, geólogos y científicos de organizaciones públicas y privadas, firmas consultoras, universidades y empresas constructoras. **La Argentina integra el ICOLD desde el año 1960.**

<https://www.icold-cigb.org/>

CAP



¿Qué es el CAP?

El **Comité Argentino de Presas** (CAP) es una Asociación Civil sin fines de lucro que reúne a profesionales de la ingeniería que participan del diseño, construcción, mantenimiento y explotación de represas (presas).

El CAP se creó en la Ciudad de Buenos Aires el 13 de febrero de 1960 por iniciativa de un grupo de ingenieros y logró su personería jurídica el 23 de octubre de 1981.

De acuerdo a su [Estatuto](#), los fines del Comité Argentino de Presas son:

- Promover el progreso en el estudio, en la construcción, en el mantenimiento, en la explotación de las presas;
- Suscitar el interés de sus miembros hacia los problemas planteados por la construcción y explotación de las presas mediante la visita de obras y conferencias;
- Reunir, discutir y publicar los resultados de las observaciones efectuadas sobre presas;
- Reunir documentación y estudiar las cuestiones que se relacionen con dichas obras en todos sus aspectos;
- Colaborar en los trabajos de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) y participar en sus Congresos.

<https://www.cadp.org.ar>

ORSEP

¿Qué es el ORSEP?



El **Organismo Regulador de Seguridad de Presas** (ORSEP) fiscaliza la seguridad estructural y operativa de la infraestructura estratégica que componen las presas, estructuras complementarias y auxiliares, para el desarrollo sostenible de la República Argentina.

El objetivo del ORSEP es el de fiscalizar el cumplimiento de las normas sobre seguridad de presas establecidas en los contratos de concesión de aprovechamientos hidroeléctricos bajo su jurisdicción y de aquellas que, siendo de Estados Provinciales o de terceros, sean puestas bajo su jurisdicción por convenios específicos, para lograr que las mismas y sus obras auxiliares alcancen y se mantengan en los mejores niveles de seguridad compatibles con el más avanzado estado del arte en la materia.

<https://www.argentina.gob.ar/orsep>

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

No existen estadísticas disponibles para confirmar el número total de presas en operación en el mundo.

Los datos estadísticos precisos están restringidos a las **presas 'grandes'** inscritas en listas nacionales en el World Register of Dams (Registro Mundial de Presas) publicado por la ICOLD.

La ICOLD define las “grandes” presas como aquellas que:

EXCEDEN LOS 15m DE ALTURA

O

ESTAN ENTRE 14m y 15m, pero satisfacen algún otro criterio como:

VOLÚMEN DE ALMACENAMIENTO $\geq 1 \times 10^6 \text{m}^3$
CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DE CRECIENTES $\geq 2000 \text{m}^3/\text{s}$

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Tabla 1.1 Grandes presas: estadísticas del World Register (Registro Mundial) (ICOLD, 1984, 1988a)

<i>Grupo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Código ICOLD</i>	<i>Número</i>	<i>%</i>
Presas de relleno	Relleno de tierra	TE	28 845	82.9
	Enrocado	ER		
Presas de concreto (incluyendo presas en mampostería)	Gravedad	PG	3 953	11.3
	Arco	VA	1 527	4.4
	Contrafuerte	CB	337	1.0
	Arco múltiple	MV	136	0.4
Total grandes presas (ICOLD, 1984)			34 798	
Total grandes presas (ICOLD, 1988a)			36 235	

REGISTRO AÑO 1950 → 5.200 GRANDES PRESAS

REGISTRO AÑO 2019 → 58.000 GRANDES PRESAS

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Se han publicado muy pocos estimativos confiables acerca del número total de presas de todos los tamaños en cada nación.

El número total estimado en el Reino Unido y en Estados Unidos, con base en encuestas nacionales:

Tabla 1.2 Resumen del número de presas en el Reino Unido y Estados Unidos

	<i>Grandes presas (ICOLD, 1988a)</i>	<i>Número total estimado de presas (encuestas nacionales)</i>
Reino Unido	535	> 5 500
Estados Unidos	5 459	> 68 000

A partir de estas estadísticas se puede concluir de manera razonable que el número total de presas existentes en el mundo sobrepasa 300 000.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

El rápido crecimiento en el número de grandes presas ha estado acompañado por un **incremento progresivo en el tamaño de las presas y embalses más grandes.**

La magnitud física de los proyectos más grandes se manifiesta en las estadísticas de alturas, volúmenes y capacidad de almacenamiento:

Tabla 1.3 Presas más altas (tomado de Mermel, 1994)

<i>Presa</i>	<i>País</i>	<i>Tipo</i>	<i>Periodo</i>	<i>Altura (m)</i>
Nurek	Antigua Unión Soviética	TE	1980	300
Gran Dixence	Suiza	PG	1962	285
Inguri	Antigua Unión Soviética	VA	1980	272
Tehri	India	TE-ER	En construcción	261
Chicoasén	México	TE-ER	1980	261

14 presas tienen más de 200 m de altura.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Tabla 1.4 Presas con los mayores volúmenes (tomado de Mermel, 1994)

<i>Presa</i>	<i>País</i>	<i>Tipo</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Periodo</i>	<i>Volumen ($\times 10^6 m^3$)</i>
Kambaratinsk	Antigua Unión Soviética	TE-ER	255	En construcción	112.2
Tarbela	Pakistán	TE-ER	143	1976	105.9
Fort Peck	EE. UU.	TE	76	1937	96.1
Tucurui	Brasil	TE-ER-PG	106	1984	85.2
Ataturk	Turquía	TE-ER	184	1990	84.5

Excluyen las presas de desechos de minería. 19 presas tienen volúmenes mayores a $50 \times 10^6 m^3$.

La mayoría de las nuevas presas está en el rango de 5-10 m. Las presas de relleno de tierra continúan siendo dominantes, pero han sido desplazadas por las de enrocado en las estructuras más grandes debido a que ofrecen varias ventajas.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Tabla 1.5 Presas con la mayor capacidad de embalse (tomado de Mermel, 1994)

<i>Presa</i>	<i>País</i>	<i>Tipo</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Periodo</i>	<i>Capacidad del embalse ($\times 10^9 m^3$)</i>
Owen Falls	Uganda	PG	31	1954	2700.0 ^a
Kakhovskaya	Antigua Unión Soviética	TE-PG	37	1955	182.0
Kariba	Zimbabwe-Zambia	VA	128	1959	180.6
Bratsk	Antigua Unión Soviética	TE-PG	125	1964	169.3
Aswan (Alto)	Egipto	TE-ER	111	1970	168.9

19 embalses tienen una capacidad de almacenamiento mayor a $50 \times 10^9 m^3$.

^a La mayor parte representa la capacidad natural del lago.

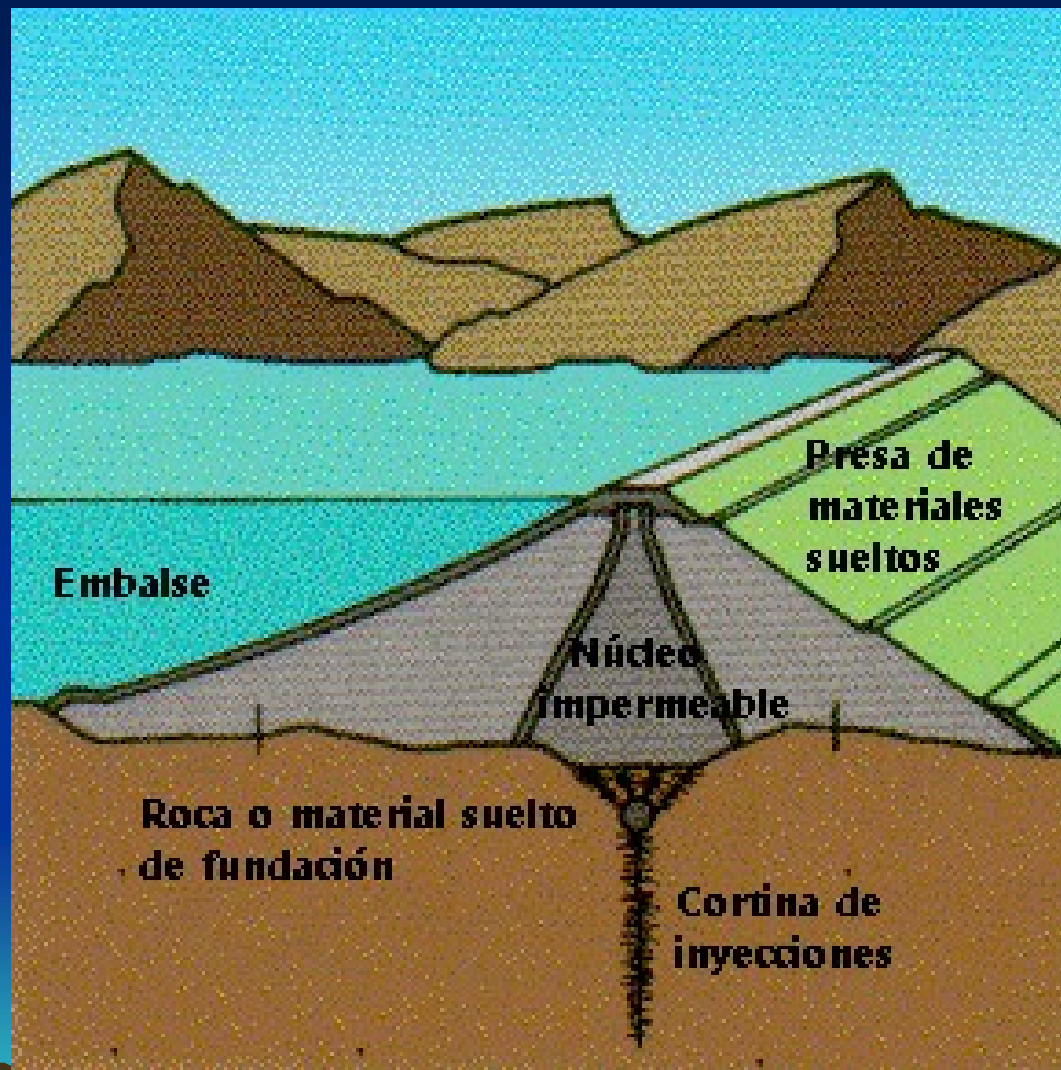
Es importante reconocer también que actualmente, la mayoría de las presas más grandes ha debido construirse en sitios menos favorables y de acceso más difícil. Por razones obvias, en general los sitios más atractivos fueron explotados primero.

TIPOS GENÉRICOS DE PRESAS

Una buena porción de los sitios utilizados en la actualidad habrían sido rechazados en el pasado por razones económicas o aun por ser poco apropiados para una presa.

La habilidad para construir con éxito sobre terrenos poco adecuados refleja los avances en el entendimiento de la geotecnia y la confianza en los procesos modernos de mejoramiento del terreno.

PRESAS DE RELLENO



PRESAS DE RELLENO

Las presas de relleno o de materiales sueltos pueden definirse como una presa construida a partir de materiales naturales excavados u obtenidos en los alrededores.

Los materiales disponibles se utilizan para sacar el mejor provecho de sus características como volumen de relleno de ingeniería en las diversas zonas dentro de la sección de la presa.

Los materiales naturales de relleno se colocan y se compactan sin la adición de ningún agente ligador, utilizando una planta mecánica de gran capacidad.

En consecuencia, la construcción de los terraplenes es un proceso casi continuo y bastante mecanizado, que **utiliza intensivamente equipos pero no mano de obra.**

PRESAS DE RELLENO

Las presas de relleno pueden clasificarse en términos generales, como presas de relleno de tierra o de enrocado.

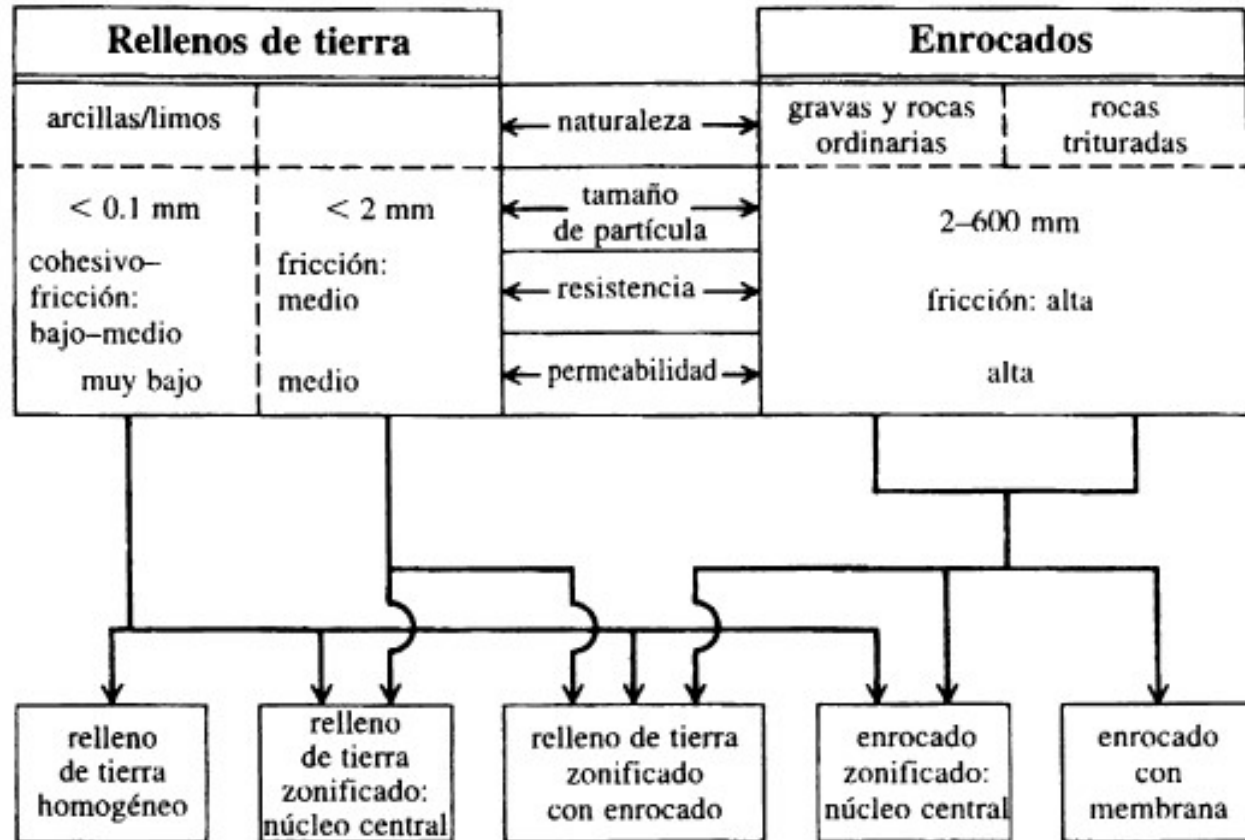
La división entre estas dos variantes no es absoluta, muchas presas utilizan materiales de relleno de ambos tipos dentro de zonas internas apropiadamente designadas.

Las presas de relleno secundarias y una pequeña minoría de las más grandes pueden emplear una sección homogénea, pero en la mayoría de los casos se emplea una zona o un núcleo impermeable, combinado con espaldones de soporte que pueden ser de un material de relativa permeabilidad.

El propósito de estos últimos es totalmente estructural, para proporcionar estabilidad al material impermeable y a la sección como un todo.

PRESAS DE RELLENO

Los términos presa de “enrocado zonificado” o presa de “relleno de tierra-enrocado” se utilizan para describir presas de enrocado que incorporan zonas relativamente anchas de material impermeable de relleno de tierra compactado. Las presas de enrocado que emplean una membrana delgada aguas arriba, concreto reforzado u otros materiales no naturales se denominan “presas de enrocado con cubierta”.



PRESAS DE RELLENO

Entonces las presas de relleno pueden ser de muchos tipos, según cómo se utilicen los materiales disponibles.

La clasificación inicial de relleno de tierra o enrocado suministra una base conveniente para considerar las principales variantes empleadas.

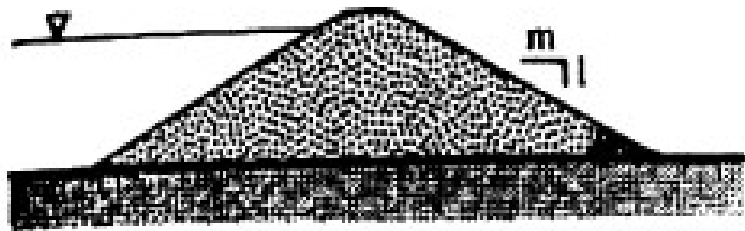
Presas de relleno de tierra.

Una presa puede denominarse de relleno de tierra si los suelos compactados representan más de 50% del volumen colocado de material.

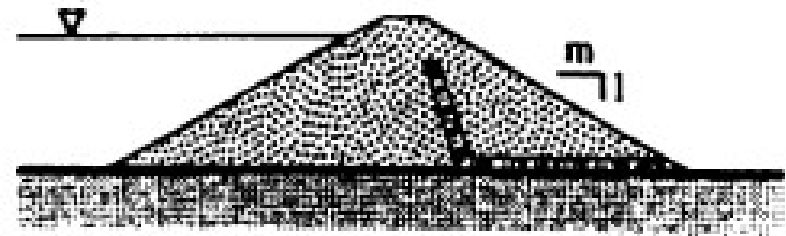
Una presa de relleno de tierra se construye principalmente con suelos seleccionados cuidadosamente para la ingeniería, de compactación uniforme e intensiva en capas más o menos delgadas y con un contenido de humedad controlada.

PRESAS DE RELLENO

Secciones esquemáticas de algunas de las variantes más comunes de este tipo de presas:



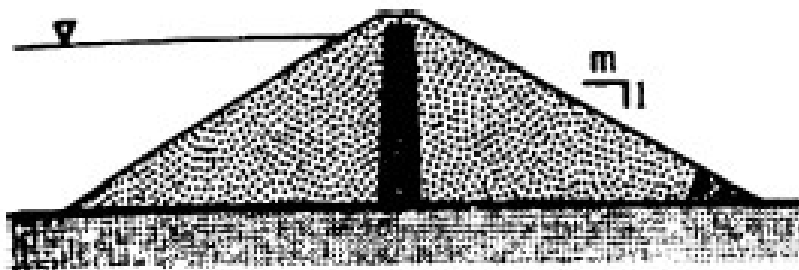
(a) **Homogénea con dren de pie:**
presas secundarias pequeñas
 $m = 2.0 - 2.5$



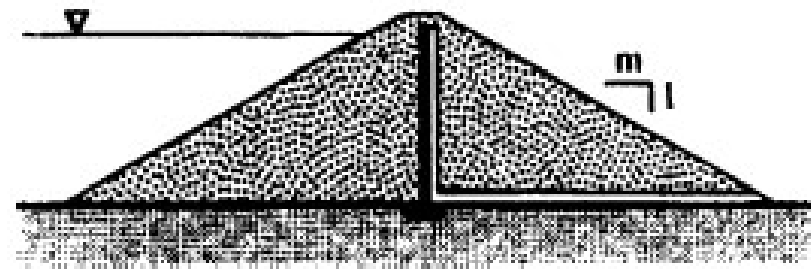
(b) **Homogénea moderna con dren**
de chimenea interno
 $m = 2.5 - 3.5$

PRESAS DE RELLENO

Secciones esquemáticas de algunas de las variantes más comunes de este tipo de presas:



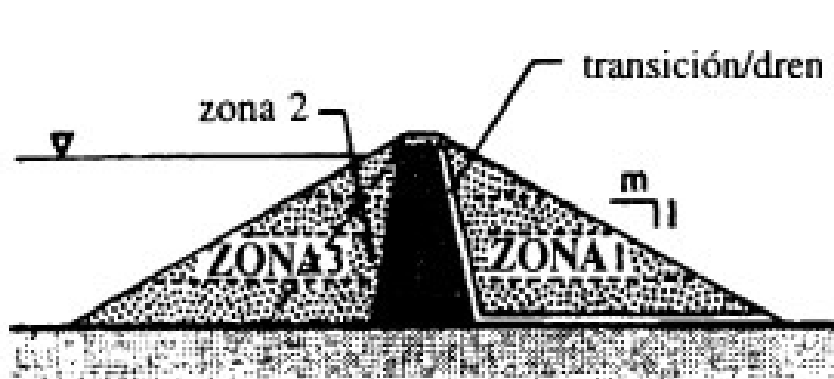
(c) Núcleo de arcilla central esbelto: tipo 'Pennines'—obsoleta
 $m = 2.5-3.5$



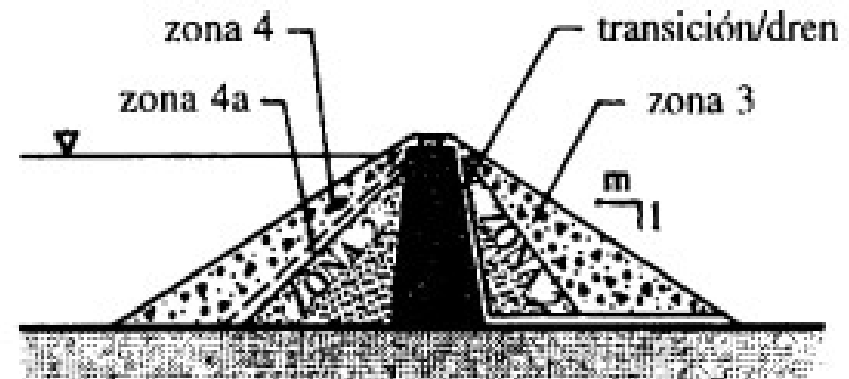
(d) Núcleo de cemento central: presas pequeñas—obsoleta
 $m = 2.5-3.5$

PRESAS DE RELLENO

Secciones esquemáticas de algunas de las variantes más comunes de este tipo de presas:



(e) Núcleo de arcilla compactado:
zonificada con transiciones y drenes
 $m = 2.5 - 3.5$



(f) Relleno de tierra enrocado
(con núcleo de arcilla central
compactado: zonificada con transiciones
y drenes $m = 1.6 - 2.0$)

PRESAS DE RELLENO

Presas de enrocado.

La sección de las presas de enrocado incluye un elemento impermeable discreto de relleno de tierra compactada, concreto esbelto o una membrana bituminosa.

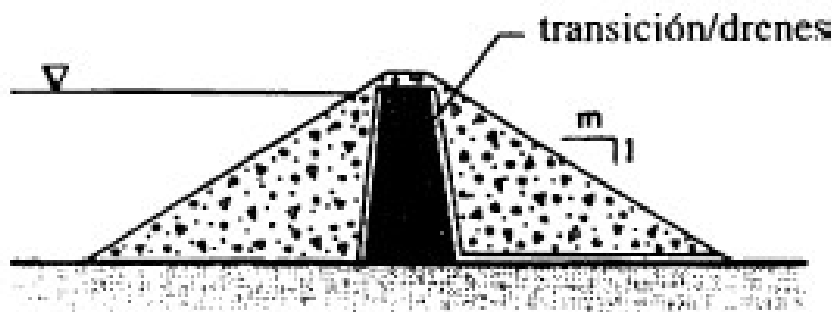
La designación como “presa de enrocado” es apropiada cuando más de 50% del material de relleno se pueda clasificar como roca, es decir, material friccional de granulometría gruesa.

La práctica moderna es especificar un enrocado bien graduado, de alta compactación en capas más bien delgadas mediante un equipo pesado.

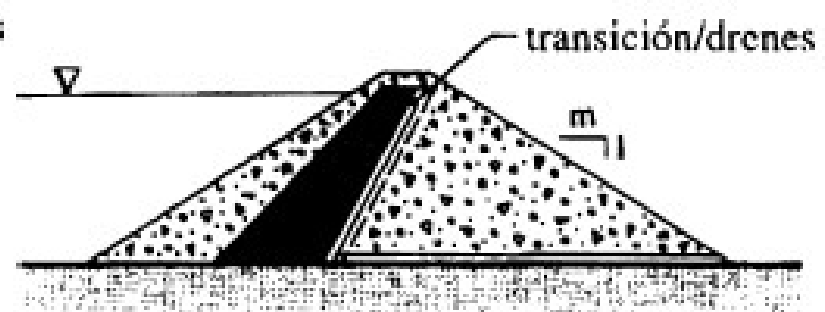
En esencia, el método de construcción es, por tanto, similar al de una presa de relleno de tierra.

PRESAS DE RELLENO

Secciones esquemáticas de algunas de las variantes más comunes de este tipo de presas:



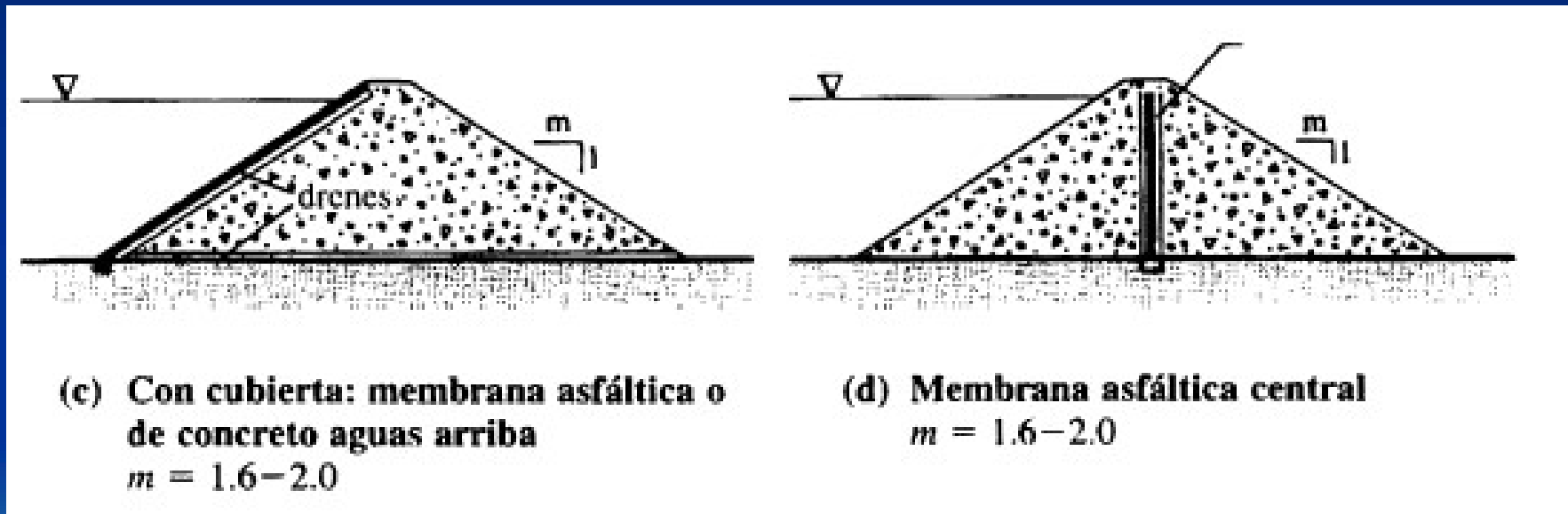
(a) Núcleo de arcilla central compactado
 $m = 1.6 - 2.0$



(b) Núcleo inclinado de arcilla compactado
 $m = 1.6 - 2.0$

PRESAS DE RELLENO

Secciones esquemáticas de algunas de las variantes más comunes de este tipo de presas:



PRESAS DE RELLENO

Las **presas de relleno** poseen muchos méritos sobresalientes que se combinan para asegurar su dominio como tipo genérico. Los más importantes pueden sintetizarse de la siguiente manera:

1. su conveniencia en todo tipo de sitios, desde valles anchos hasta cañones con laderas relativamente pendientes;

2. su adaptabilidad a un rango amplio de condiciones de cimentación: desde rocas competentes hasta suelos blandos y compresibles o formaciones de suelos relativamente permeables;

3. el uso de materiales naturales, minimizando la necesidad de importar o transportar al sitio grandes cantidades de material procesado o cemento;

4. siempre y cuando se satisfagan los criterios esenciales, el diseño es flexible en extremo y se acomoda con facilidad a diferentes materiales de relleno, por ejemplo, en tierra y/o enrocados, si se zonifican apropiadamente en su interior;

PRESAS DE RELLENO

5. el proceso de construcción es de gran mecanización y continuo;

6. principalmente como consecuencia del ítem anterior, los costos unitarios en términos reales de los rellenos de tierra y enrocados se han incrementado con mayor lentitud que los del concreto macizo;

7. si se diseñan apropiadamente, las presas de relleno pueden acomodarse en forma segura a un grado apreciable de asentamiento-deformación sin exponerse a fraccionamientos serios y posibles fallas.

Las **desventajas** relativas de las presas de relleno son pocas. La más importante incluye su inherente gran susceptibilidad al daño o la destrucción por **rebose**, por lo que es necesario asegurar el alivio de las inundaciones mediante un vertedero separado, y la vulnerabilidad a **filtraciones** ocultas y la erosión interna de la presa o su cimentación.

PRESAS DE HORMIGÓN

Las principales variantes de presas modernas de hormigón se definen a continuación:

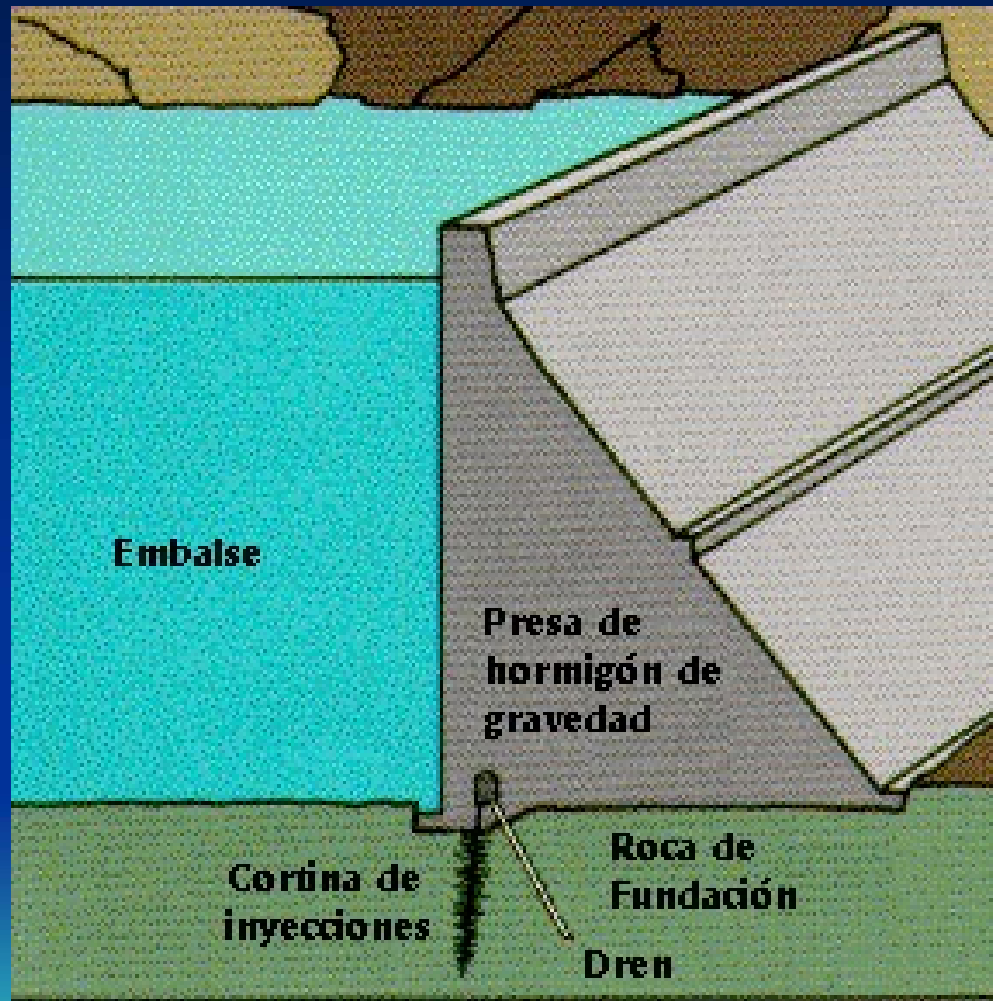
Presas de gravedad.

Una presa de gravedad depende por completo de su propio peso para su estabilidad.

Su perfil es en esencial triangular, con la geometría que se indica en el esquema, para asegurar estabilidad y evitar esfuerzos excesivos en la presa o su cimentación.

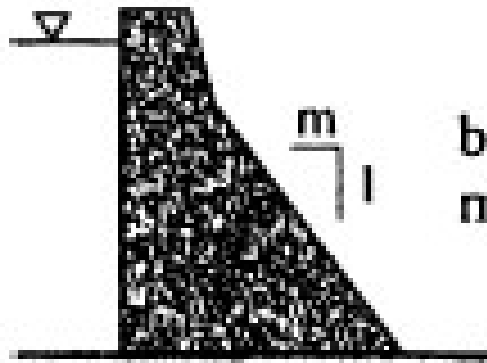
Algunas presas de gravedad son ligeramente curvas por razones estéticas o de otro tipo, sin confiar en la acción del arco para su estabilidad. Cuando se introduce deliberadamente un pequeño grado de acción de arco en el diseño, permitiendo un perfil mucho más delgado, debe emplearse el término de presa de arco-gravedad.

PRESA DE GRAVEDAD



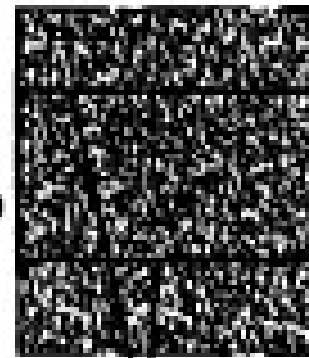
PRESAS DE HORMIGÓN

Perfil transversal



bloque o
monolito

Sección horizontal
en la base



12-15 m

juntas
de contracción

(a) Presa de gravedad

$$m = 0.75 \pm$$

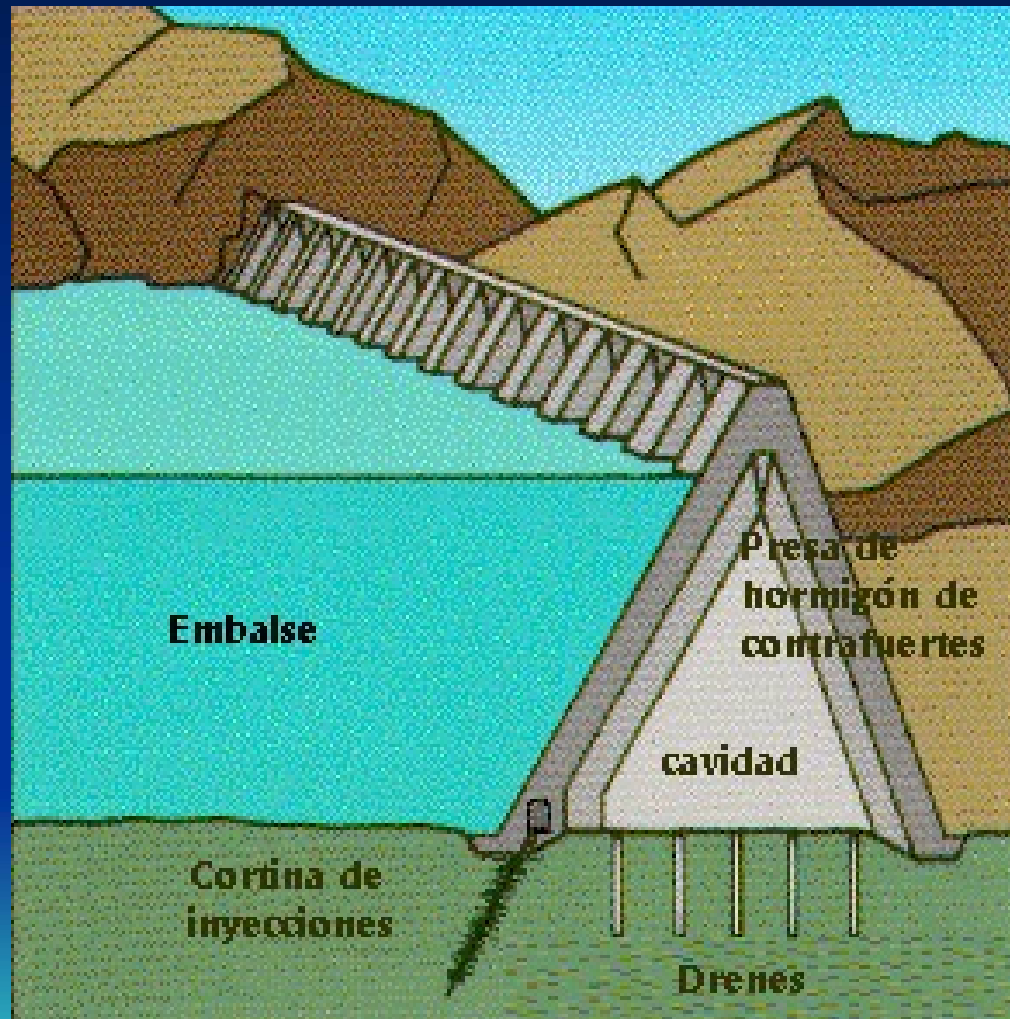
PRESAS DE HORMIGÓN

Presas de contrafuerte.

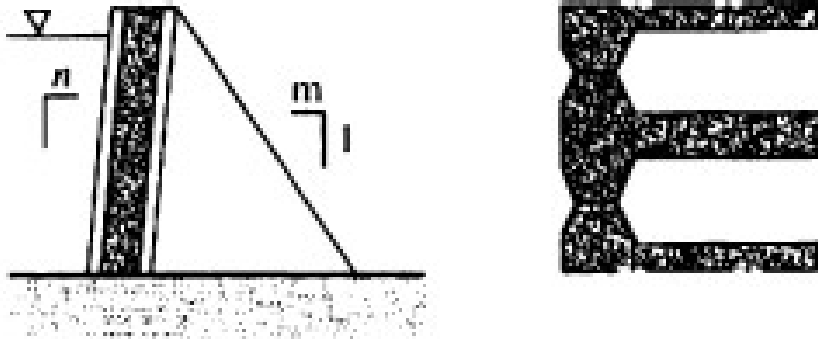
El concepto estructural de las presas de contrafuerte consiste en un paramento continuo aguas arriba soportado a intervalos regulares por un contrafuerte aguas abajo.

Las presas de contrafuerte macizo o de cabeza sólida, como se ilustra en las figuras, son las variantes modernas más notables de este tipo y, para propósitos conceptuales, pueden considerarse como una versión aligerada de la presa de gravedad.

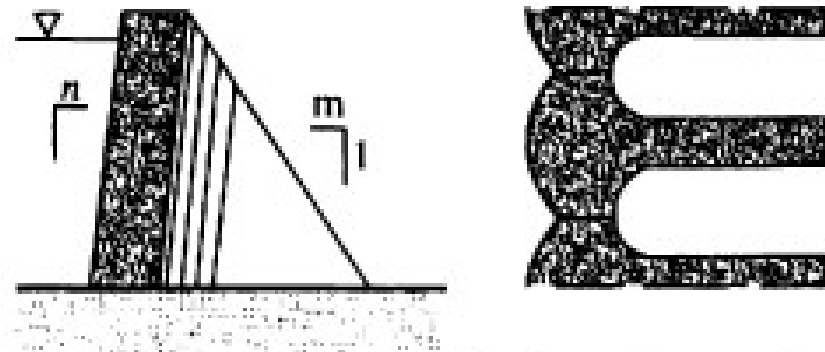
PRESA DE CONTRAFUERTES



PRESAS DE HORMIGÓN



(b) Contrafuerte macizo 1: cabeza de diamante
 $m = 0.8 - 1.0$; $n = 0.1 - 0.3$



(c) Contrafuerte macizo 2: cabeza redonda
 $m = 0.8 - 1.0$; $n = 0.1 - 0.3$

PRESAS DE HORMIGÓN

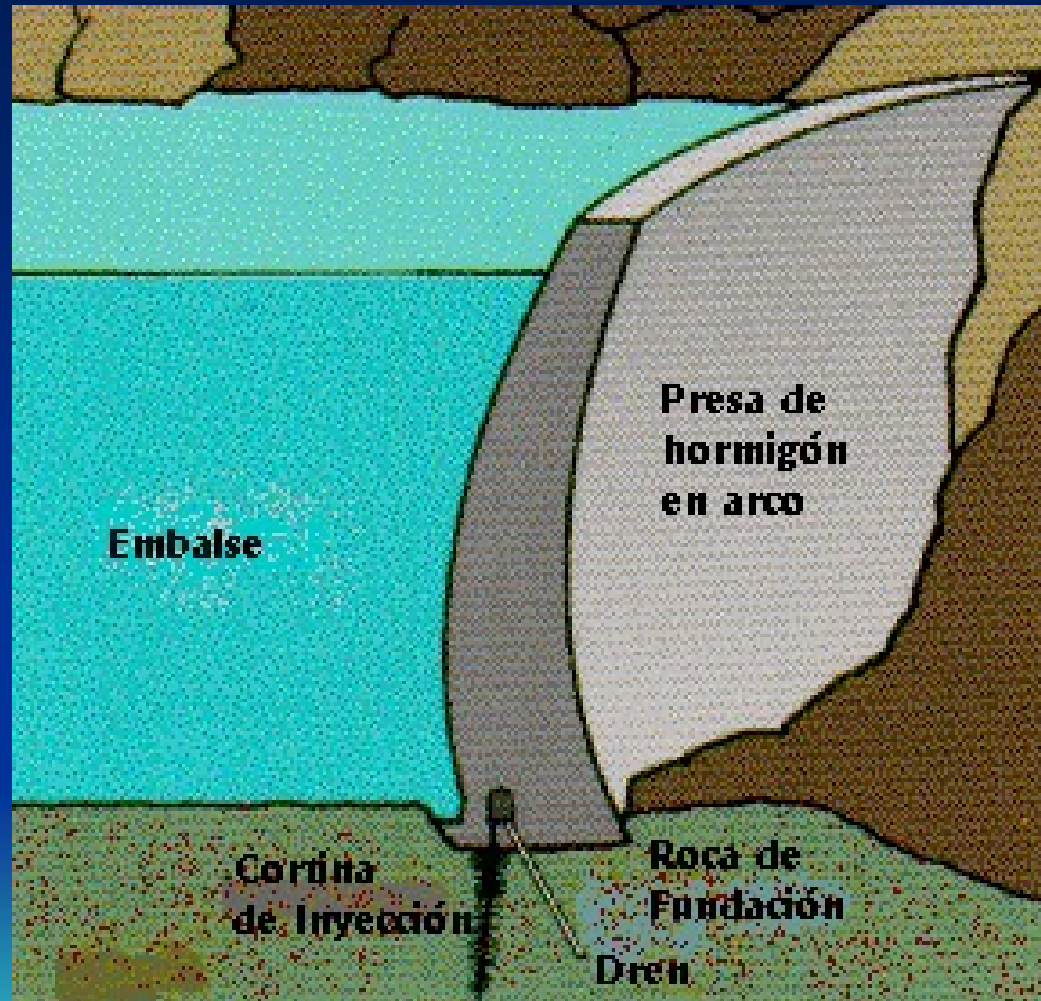
Presas de arco.

Las presas de arco tienen una considerable curvatura aguas arriba. Estructuralmente trabajan como un arco horizontal, transmitiendo la mayor parte de la carga de agua a los estribos o laderas del valle y no al lecho del valle.

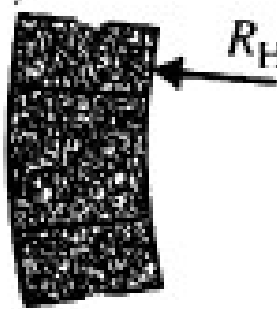
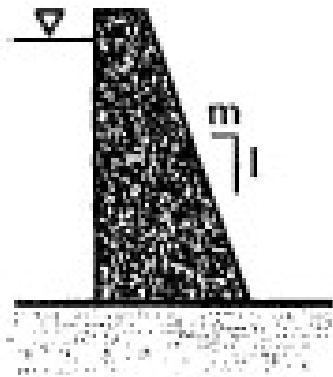
Un arco relativamente simple, es decir, sólo con curvatura horizontal y un radio constante aguas arriba, en términos estructurales es más eficiente que las presas de gravedad o las de contrafuerte, al reducir de manera considerable el volumen de concreto requerido.

Una derivación particular de la presa de arco simple es la presa de bóveda o arco de doble curvatura. La presa de bóveda emplea curvaturas complejas tanto en los planos verticales como en los horizontales. Es la más sofisticada de las presas de concreto y su estructura es en esencia un domo, sumamente económica en concreto. La estabilidad de los estribos es importante para la integridad estructural y la seguridad, tanto para la bóveda como para el arco simple.

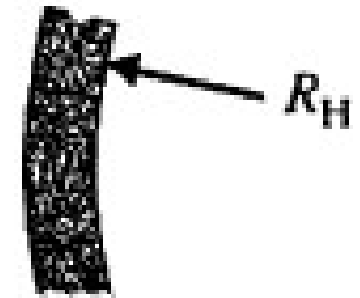
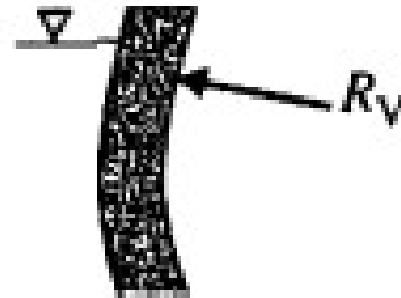
PRESAS DE ARCO



PRESAS DE HORMIGÓN



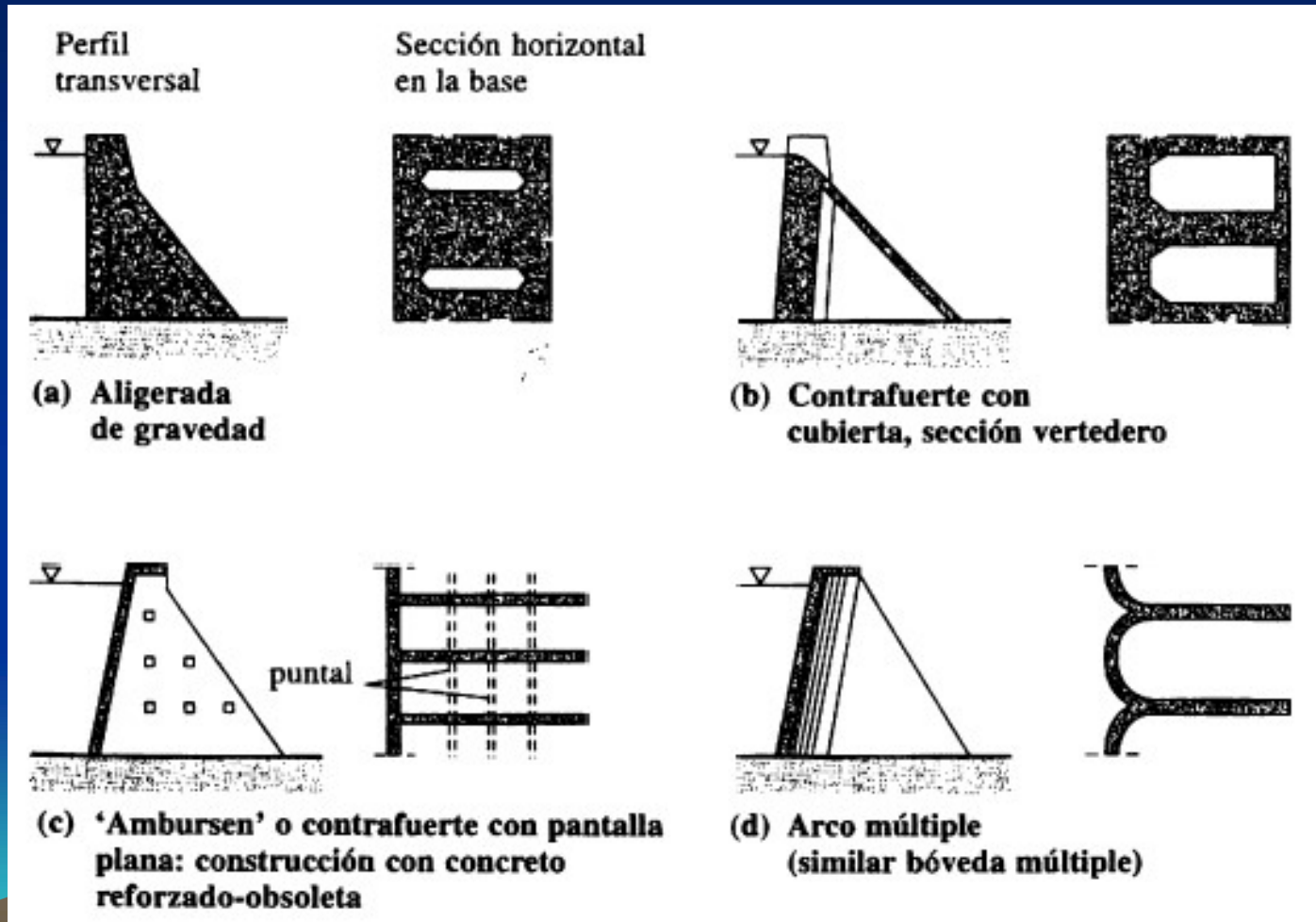
(d) Arco o arco-gravedad
 $m = 0.3 - 0.5$



(e) Bóveda o arco de doble curvatura

PRESAS DE HORMIGÓN

Otros tipos de presas de hormigón.



PRESAS DE HORMIGÓN

Entre las **ventajas** que comparten la mayoría de las presas de hormigón están las siguientes:

1. Exceptuando las presas de arco y bóveda, las presas de concreto son apropiadas para valles tanto de topografía ancha como angosta, siempre y cuando se tenga una roca competente de cimentación que sea accesible y a una profundidad moderada (< 5 m).
2. Las presas de concreto no son sensibles a los reboses debido a condiciones extremas de inundaciones (en contraste con las presas de relleno).
3. Como corolario al segundo punto, todas las presas de concreto pueden acomodar un vertedero de cresta, si es necesario en toda su longitud, siempre y cuando se tomen medidas para controlar la erosión aguas abajo y la posible socavación bajo la presa. Por tanto, se evita el costo de un vertedero y un canal separados.

PRESAS DE HORMIGÓN

4. Las tuberías de salida, las válvulas y otras obras complementarias se pueden albergar de manera fácil y segura en cámaras o galerías dentro de la presa.

5. La habilidad inherente para soportar perturbaciones sísmicas sin colapsos catastróficos es generalmente alta.

Las características específicas de cada tipo se determinan, en gran medida, por las diferencias en el *modo de operación* estructural asociado con las variantes de las presas de concreto.

En el caso de las **presas de gravedad y de contrafuerte**, por ejemplo, la **respuesta estructural dominante es la acción vertical como voladizo**. La reducida área de contacto aguas abajo de las presas de contrafuerte impone esfuerzos locales significativamente más altos sobre las cimentaciones que para una estructura de gravedad equivalente. En consecuencia, una característica de las presas de contrafuerte es ser más exigentes en la calidad requerida de la roca de cimentación subyacente.

PRESAS DE HORMIGÓN

El comportamiento estructural de las variantes más sofisticadas de arco y bóveda de una presa de concreto es predominantemente una acción de arco, con acción secundaria vertical de voladizo.

Este tipo de presas depende en su totalidad de la integridad de la roca de los estribos y de su capacidad de resistir los empujes del arco sin deformaciones excesivas.

En consecuencia, es característico que las presas de arco y bóveda sean consideradas apropiadas sólo en una minoría de sitios, valles más o menos angostos, de altas pendientes o cañones, es decir, sitios con una relación ancho-alto a nivel de la cresta de la presa que en general no exceda la relación 4-5.

PRESAS DE HORMIGÓN

Una comparación de las características generales de las **presas de hormigón y las presas de relleno** sugiere las siguientes **desventajas** para las primeras.

- Las presas de hormigón son relativamente exigentes con respecto a las condiciones de cimentación y requieren rocas firmes.
- Las presas de hormigón requieren materiales naturales procesados de calidad y cantidad apropiadas para el agregado, además, transportar al sitio y almacenar cemento y otros materiales.
- La construcción tradicional en hormigón macizo es relativamente lenta, intensiva en mano de obra y discontinua, y requiere ciertas habilidades, por ejemplo, encofrado y mezcla del concreto.
- Los costos unitarios totales para las presas de hormigón macizo, por ejemplo, el costo por metro cúbico, son mucho más altos que en las de relleno. Aunque los volúmenes de concreto que se requieren en una presa de una altura dada son mucho menores, estos costos rara vez se equilibran.

EVALUACIÓN GENERAL DEL SITIO DE PRESA

Un **sitio satisfactorio para un embalse** debe cumplir ciertos **requisitos funcionales y técnicos**.

La **conveniencia funcional** de un sitio se rige por el balance entre sus características naturales específicas y el propósito del embalse. La hidrología de la cuenca, la altura disponible y el volumen de almacenamiento, etc., deben ajustarse a los parámetros de operación impuestos por la naturaleza y la escala del proyecto.

La **conveniencia técnica** se establece por la presencia de un sitio (o sitios) para la presa, la disponibilidad de materiales apropiados para la construcción de la misma y por la integridad del cuenco del embalse con respecto a filtraciones. Las características hidrológicas y geológicas o geotécnicas de la cuenca y del sitio son los factores determinantes para establecer la conveniencia técnica de un sitio para un embalse.

Se debe añadir una **evaluación anticipada de los impactos ambientales, ocasionados por la construcción y operación de la presa.**

EVALUACIÓN GENERAL DEL SITIO DE PRESA

Debe tenerse en cuenta el tiempo considerable que puede transcurrir entre la planeación estratégica inicial, con identificación de los requerimientos del proyecto, y el comienzo de la construcción en el sitio.

Una porción importante del tiempo puede atribuirse al proceso 'político' de toma de decisiones y de arreglar la financiación del proyecto.

El objetivo principal de la fase de reconocimiento, que puede extenderse por un periodo sustancial, es recolectar de forma extensiva la información topográfica, geológica e hidrológica.

Los mapas a gran escala y cualquier información ya disponible serán el punto de partida, pero se requieren estudios de campo mucho más detallados. En particular, se deben tener en cuenta reconocimientos aéreos con sensores modernos además de las técnicas fotométricas tradicionales, para la preparación de planos precisos y de gran escala (por ejemplo, 1:5000 y mayores).

EVALUACIÓN GENERAL DEL SITIO DE PRESA

En manos de un intérprete hábil, los reconocimientos aéreos también proporcionan una información muy valiosa sobre la geología, los potenciales sitios de presas y la disponibilidad probable de los materiales de construcción.

Se conducen estudios hidrológicos para determinar las características de precipitación y escorrentía, para evaluar la evidencia histórica de inundaciones, etcétera.

•Un **reporte de factibilidad** preparado al concluir la fase de reconocimiento recoge e interpreta toda la información disponible, los datos y registros, y las recomendaciones iniciales sobre la viabilidad económica y técnica del embalse. Se indican las opciones con respecto a la localización, altura y tipo de presa y se esbozan comparaciones en términos de costos estimados y programas de construcción. Dentro de estos últimos deben tenerse en cuenta las implicaciones de recursos de cada uno, es decir, de requerimientos de desembolsos financieros, de mano de obra, de equipo, etc.

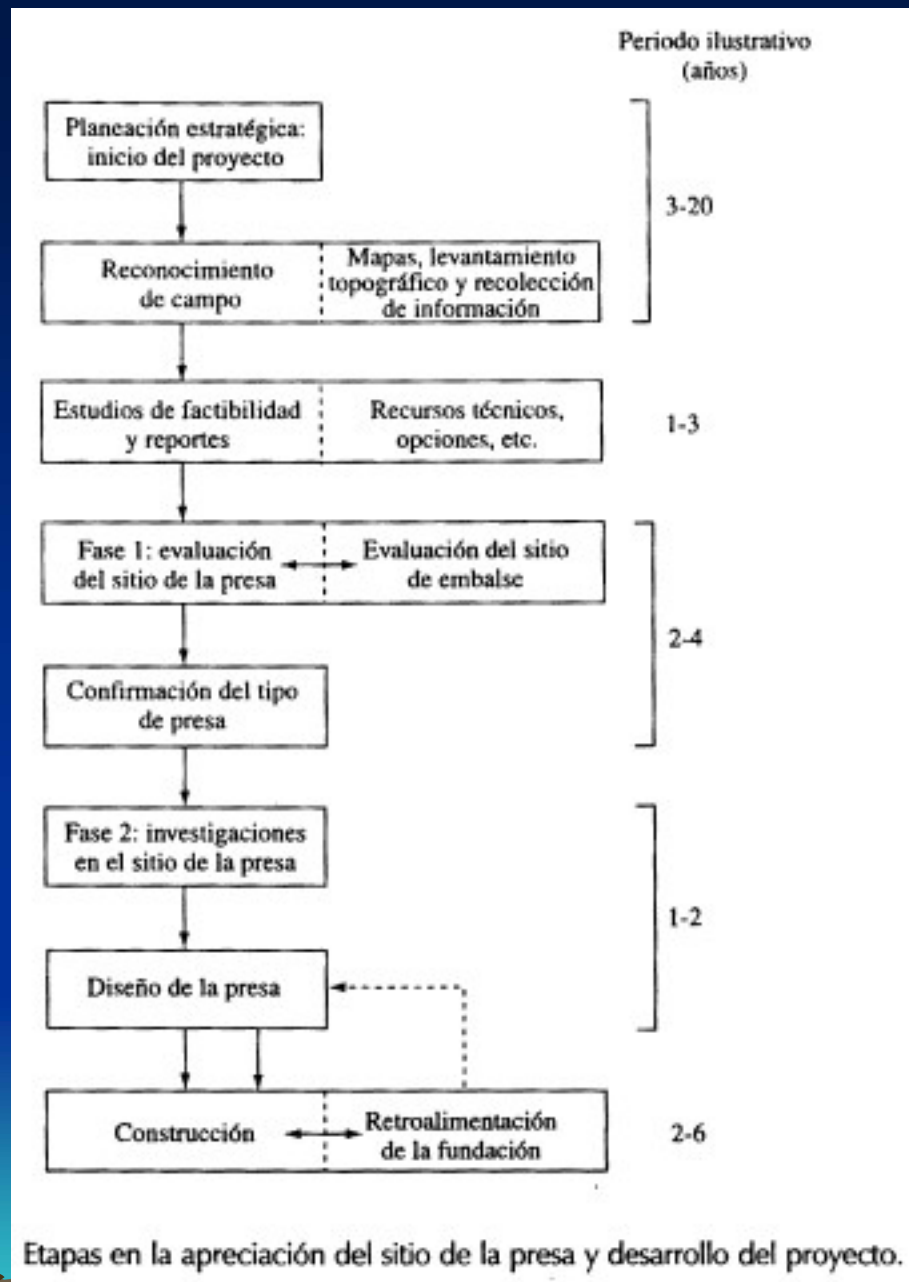
EVALUACIÓN GENERAL DEL SITIO DE PRESA

A partir de las fortalezas de este reporte, puede tomarse la decisión acerca de investigaciones adicionales más detalladas para confirmar la conveniencia de la cuenca del embalse y **el sitio (o sitios) preferido de presa.**

Se conducen **investigaciones adicionales** sobre el cuenco del embalse principalmente para confirmar su integridad con respecto a la retención del agua. Una valoración geológica detallada es necesaria para este propósito, particularmente en formaciones cársticas y con dificultades similares y en áreas con historia de actividad minera.

De ser necesario, se realizan estudios en las orillas de los embalses para confirmar la estabilidad de áreas potencialmente vulnerables, por ejemplo, las adyacentes a la presa en proyecto. La disponibilidad de materiales de construcción, por ejemplo, rellenos apropiados, fuentes de agregado, etc., también se valoran con una considerable profundidad.

Los estudios hidrológicos se continúan cuando se necesitan para confirmar y extender los resultados de las investigaciones iniciales.



SITIO DE PRESA

La viabilidad del sitio de la presa, identificado y recomendado en el estudio de factibilidad debe establecerse, para lo cual se conducen **extensas investigaciones** que confirmen si el sitio puede desarrollarse a la escala deseable con un costo aceptable.

La naturaleza de las formaciones de roca y suelos que sean decisivas para la integridad de la cimentación, deben determinarse mediante la exploración del subsuelo.

Se hace énfasis en la confirmación de la geología y de las características geotécnicas del sitio y en la evaluación de las fuentes de materiales de construcción.

SITIO DE PRESA INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

La investigación geológica y geotécnica de un sitio de presa seleccionado para una evaluación detallada está dirigida a determinar la estructura geológica, la estratigrafía, las fallas, los pliegues de los esquistos y las diaclasas, y para establecer las condiciones del terreno y del agua subterránea adyacentes al sitio de la presa, incluyendo los estribos.

Los objetivos generales de estas y otras investigaciones similares son:

A- determinar los parámetros de ingeniería que puedan utilizarse de manera segura para evaluar la estabilidad de la cimentación de la presa y, en fundaciones compresibles, como suelos, estimar el asentamiento y la deformación probables;

SITIO DE PRESA INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

B- determinar los patrones de infiltración y los **parámetros necesarios para valorar el régimen probable de infiltración**, incluyendo cantidades y presiones;

C- confirmar la **integridad de contención del cuenco del embalse y la estabilidad de sus orillas**;

(La importancia relativa de *a*, *b* o *c*, depende del sitio y del tipo propuesto de presa). Un cuarto objetivo general es:

D- confirmar la naturaleza, conveniencia y disponibilidad de los **materiales de construcción naturales**, incluyendo la determinación de parámetros de diseño para materiales de relleno, etcétera.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

El tipo óptimo de presa para un sitio específico se determina con las estimaciones de costo y el programa de construcción para todas las soluciones diseñadas que sean técnicamente válidas.

Donde las ócircunstancias del sitio ofrezcan alternativas viables, es conveniente que las opciones se mantengan abiertas, evaluando las implicaciones de cada una de ellas con respecto a los recursos, programación y costos, hasta que sea evidente la solución óptima.

También puede ser necesario, tener en cuenta consideraciones sociopolíticas y ambientales menos tangibles en la determinación de esa solución.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

A continuación se detallan cuatro consideraciones de importancia cardinal.

•1. **Gradiente hidráulico:** El valor nominal del gradiente hidráulico i para infiltración bajo, alrededor o a través de la presa, varía por lo menos en un orden de magnitud de acuerdo con su tipo.

Los valores usuales del gradiente varían desde 0.5 para una presa de relleno homogéneo hasta 10 o más para una presa de bóveda o de contrafuerte.

La capacidad de las cimentaciones más blandas y más endebles o más erosionables, para resistir los gradientes hidráulicos altos de manera segura es muy limitada.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

•2. **Esfuerzo en la cimentación:** Los esfuerzos nominales transmitidos a la cimentación varían bastante con el tipo de presa.

Como ilustración de este punto, se muestran los valores usuales de los esfuerzos para una presa de 100 m de altura de los diferentes tipos:

Tabla 1.6 Esfuerzos usuales en las cimentaciones; presas de 100 m de altura

<i>Tipo de presa</i>	<i>Máximo esfuerzo usual (MN m⁻²)</i>
Relleno	1.8-2.1
Gravedad	3.2-4.0
Contrafuerte	5.5-7.5
Arco	7.5-10.0

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

3. ***Deformación de la cimentación:*** Ciertos tipos de presas se acomodan mejor sin un daño severo, a deformaciones y asentamientos significativos en la cimentación.

La importancia de una deformación excesiva o no uniformidad de la cimentación, surge en relación con el fracturamiento y la redistribución de esfuerzos dentro de la presa. La relativa flexibilidad estructural de una presa de relleno bien diseñada es muy ventajosa.

•4. ***Excavación de la cimentación:*** Consideraciones económicas establecen que los volúmenes de excavación y la preparación de la cimentación deben minimizarse.

Los desestímulos económicos de una excavación excesiva, particularmente en una presa de concreto, son evidentes.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

Factores de importancia particular relacionados con un sitio específico pueden influenciar en parte la escogencia del tipo de presa.

Por ejemplo, las condiciones de un valle con laderas muy fuertes puede favorecer una presa de relleno de tierra, pero el vertedero y el tamaño del canal requerido pueden ser desproporcionadamente costosos para construirlos en el costado de la presa.

En este caso, un **balance económico** podría inclinarse a favor de una presa de gravedad con un vertedero de cresta, si la profundidad de depósitos aluviales no fuera excesiva.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

Debe anotarse que algunos **factores locales** pueden llegar a tener importancia relativa mayor en un sitio específico, por ejemplo, el **acceso**, el **riesgo sísmico**, los **costos de procesamiento y de transporte del material**, la **disponibilidad de equipo y de mano de obra calificada**, la facilidad en la **desviación del río**, el **riesgo de inundaciones** durante la construcción y la duración de la construcción con relación a la fecha deseada de culminación del proyecto.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

<i>Tipo</i>	<i>Notas y características</i>
<i>Relleno</i> De relleno de tierra	Apropiada para cimentaciones en rocas o para suelos en valles anchos, puede aceptar asentamientos diferenciales limitados dado un núcleo relativamente ancho y plástico. Se requieren rastrillos para horizontes más sólidos, es decir, menos permeables. Esfuerzos de contacto bajo. Requiere diversas clases de materiales, por ejemplo, para el núcleo, para las zonas de los espaldones, para los filtros internos, etcétera.
De enrocado	Preferible en cimentaciones de roca; puede aceptar calidad variable y meteorización limitada. Se requieren rastrillos para horizontes sólidos. El enrocado es apropiado para colocar en todo tipo de climas. Requiere material para el núcleo, filtros, etcétera.
<i>Concreto</i> De gravedad	Apropiada para valles anchos, siempre y cuando la excavación en la roca sea menor de 5 m. Meteorización limitada de la roca es aceptable. Hay que verificar discontinuidades en la roca con respecto al deslizamiento. Esfuerzos de contacto moderados. Requiere llevar concreto al sitio de la obra.
De contrafuerte	Como la presa de gravedad, pero con esfuerzos de contacto más altos, requiere una roca firme. Ahorro relativo de concreto con respecto a las presas de gravedad entre 30% y 60%.
De arco y bóveda	Apropiada para cañones angostos, sujeta a roca firme o uniforme con una resistencia alta y con deformación limitada en su cimentación y, de manera especial, en los estribos. Carga alta en los estribos. El ahorro de concreto con respecto a la presa de gravedad está entre 50% y 85%.

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

Entre los aspectos de diseño de presas que pueden tener mayores implicaciones con respecto a la programación se tienen los siguientes:

- rastrillos;
- sistemas de vertedero, incluyendo canales y cuencos de amortiguación;
- sistemas de drenaje intemo;
- alcantarillas intemas, galerías, etc.;
- preparación de la cimentación, incluidas la excavación y las inyecciones, etc.;
- construcción de detalles, por ejemplo, transiciones o filtros en los rellenos o detalles de juntas de contracción en presas de concreto.

GRACIAS!!!!

Cátedra de Obras Hidráulicas (CI457)

BIBLIOGRAFÍA

[1] RAFAEL DAL-RÉ TENREIRO (2003) Pequeños Embalses de Uso Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Hidráulicas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. CEILP.

[2] BUREAU OF RECLAMATION (1983) Diseño de Presas Pequeñas. USA.

[3] DAL-RÉ RAFAEL, SEGURA R. (1985) Diseño y Construcción de Pequeños Embalses. Manuales Técnicos. Madrid.

<https://www.icolc-cigb.org/>

<https://www.cadp.org.ar>

<https://www.argentina.gob.ar/orsep>