

CURSOS POSTGRADOS

CIRCE - UZ

Minihidráulica. 1 Introducción



INTRANET

- Datos situación hidráulica mundial
- Aspectos legales para la concesión de agua
- Aspectos legales para la explotación de una minicentral en España
- Recomendaciones a tener en cuenta para la elaboración de un proyecto hidráulico
- Pérdidas de carga en tuberías y accesorios.
Diagrama de Moody
- Costes de instalación por partidas y activos.
- Propuesta de trabajo

DEFINICIÓN

Conjunto de instalaciones necesarias para transformar la energía potencial de un salto de agua en energía eléctrica disponible

CLASIFICACIÓN



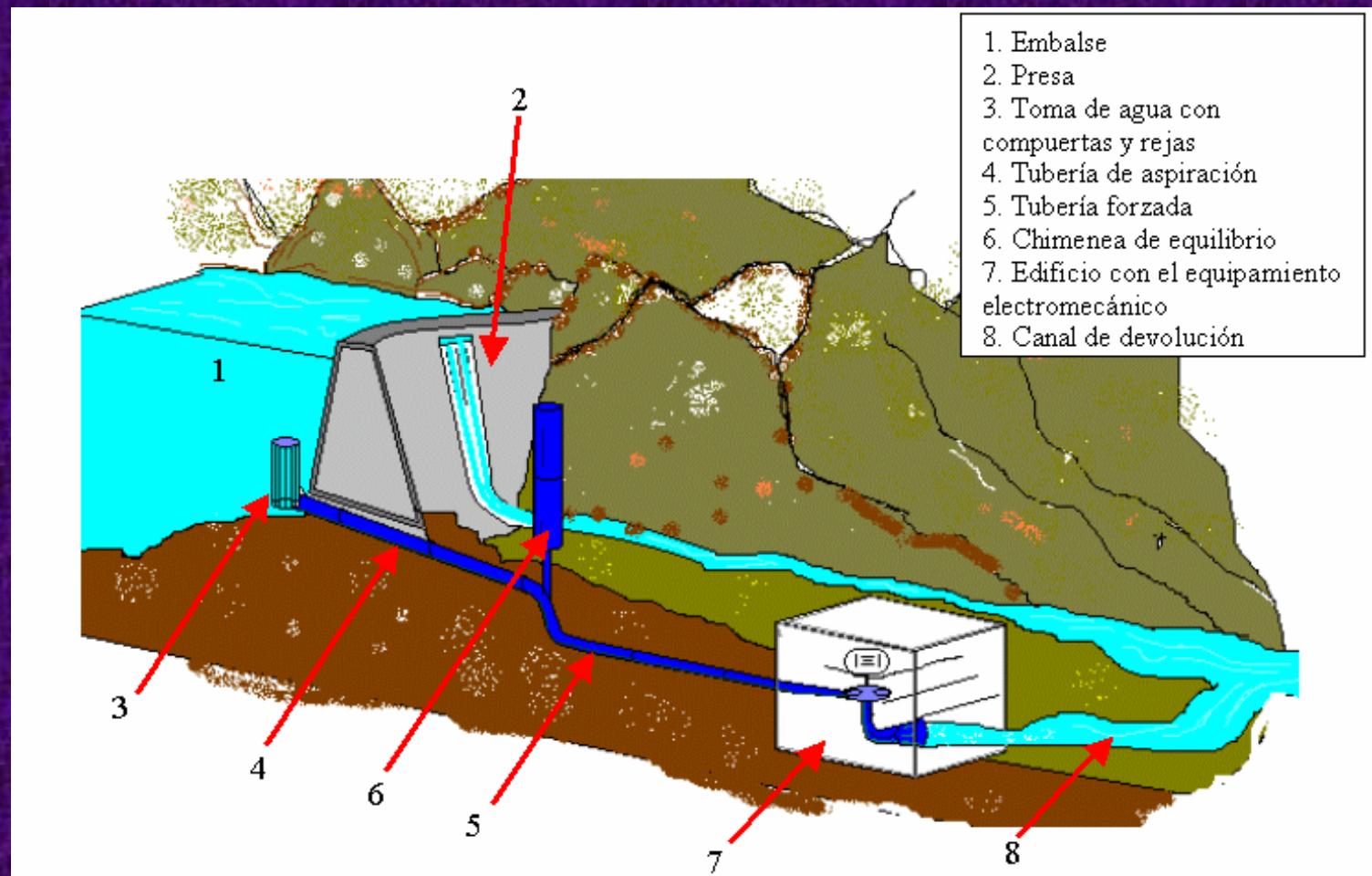
MICROTURBINAS



APROVECHAMIENTO

PIE DE PRESA : Regulan el caudal mediante un embalse, interrumpiendo el curso del río.

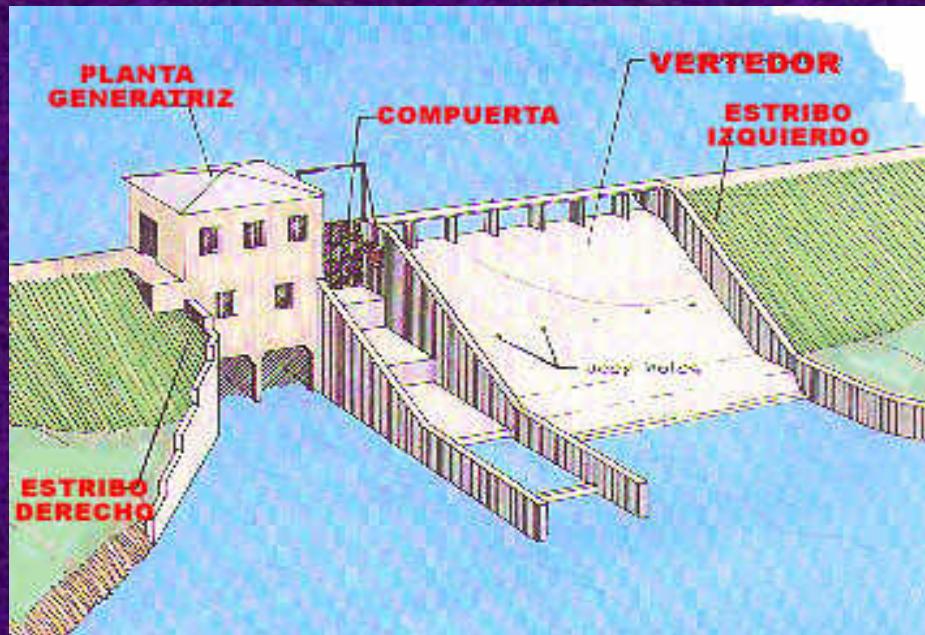
Alimentación mediante tubería forzada



APROVECHAMIENTO

PIE DE PRESA : Regulan el caudal mediante un embalse, interrumpiendo el curso del río.

Alimentación mediante tubería forzada



Embalse
Presa
Toma de agua con compuertas
y rejas
Tubería de aspiración
Galerías previas (túnel)
Tubería de presión
Chimenea de equilibrio
Edificio con el equipamiento
electromecánico

APROVECHAMIENTO

PIE DE PRESA : Regulan el caudal mediante un embalse, interrumpiendo el curso del río.

C.H. Santa Ana

Nogera-

Ribagorzana

$$Q_e = 50 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$H_b = 72,5 \text{ m}$$

$$P = 30.400 \text{ kW}$$

$$E = 30,084 \text{ GWh/año}$$

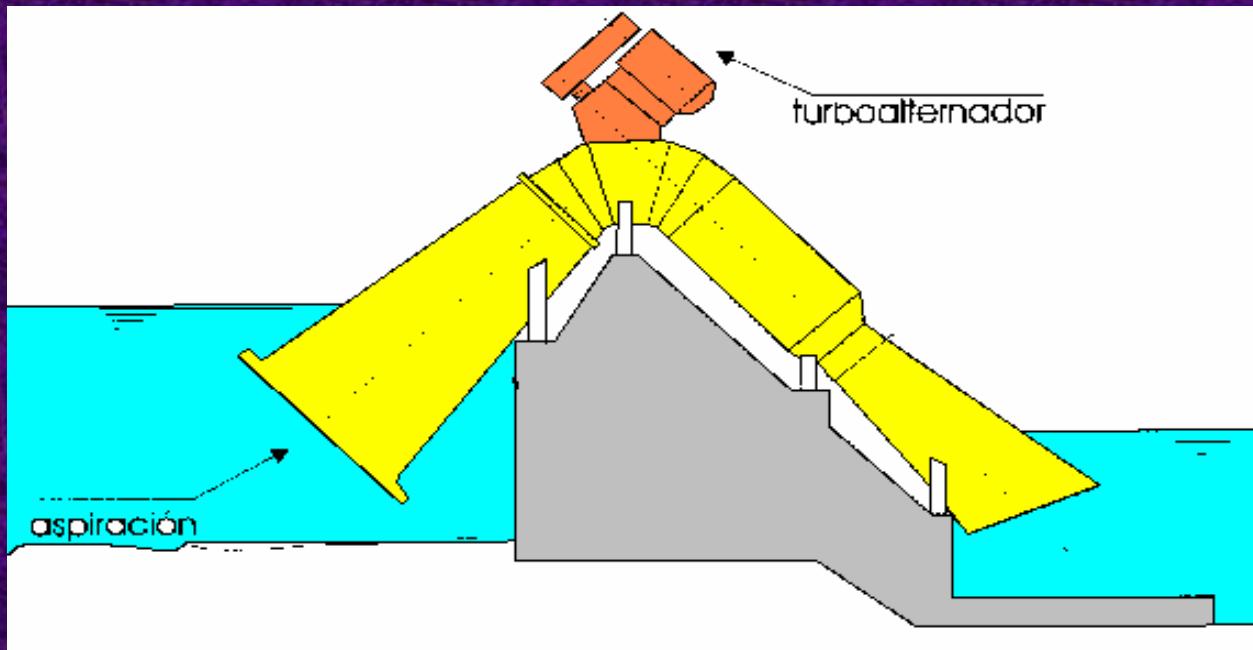
$$\text{Horas año: } 1000$$



APROVECHAMIENTO

PIE DE PRESA : Regulan el caudal mediante un embalse, interrumpiendo el curso del río.

Alimentación mediante sifón



Embalse
Presa
Toma de agua con rejas
Tubería de aspiración
Cebado con bomba de vacío
Tubería de presión
Turbina en la Tubería
Generador

APROVECHAMIENTO

Turbina kaplan 4 palas regulación de las palas.
Disposición en salto de canal. Montaje en 2 dias.



APROVECHAMIENTO



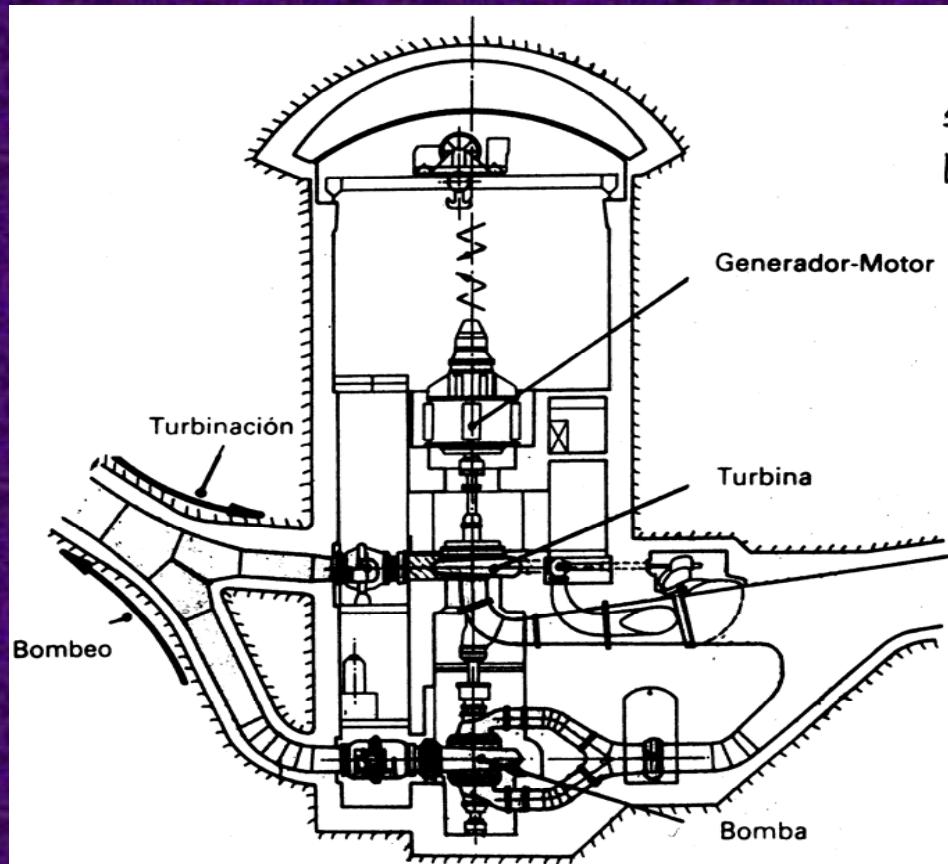
Turbina kaplan 4 palas regulación de las palas.

Disposición sifon. Entrada y salida con un angulo de 90°.

APROVECHAMIENTO

PIE DE PRESA : Regulan el caudal mediante un embalse, interrumpiendo el curso del río.

De Bombeo



Edificio con el equipamiento electromecánico:

Turbina

Bomba

Generador-Motor

C.H. IP

$$Qe = 10 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$Hb = 943 \text{ m}$$

Tres grupos

$$P = 84.000 \text{ kW}$$

$$E_{\text{neta}} = 29,491 \text{ GWh/año}$$

12

APROVECHAMIENTO

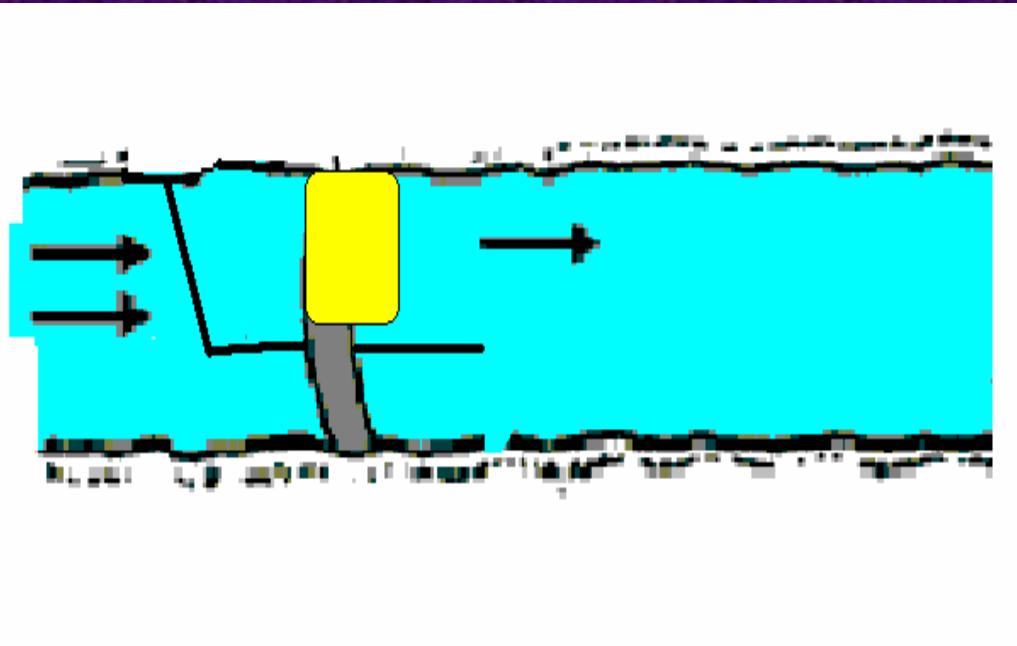
AGUA FLUYENTE :

Sin embalse regulador.

Turbinan el caudal circulante.

Directamente en el cauce

Derivando una porción del caudal



Azud

Toma de agua con compuertas y
rejas

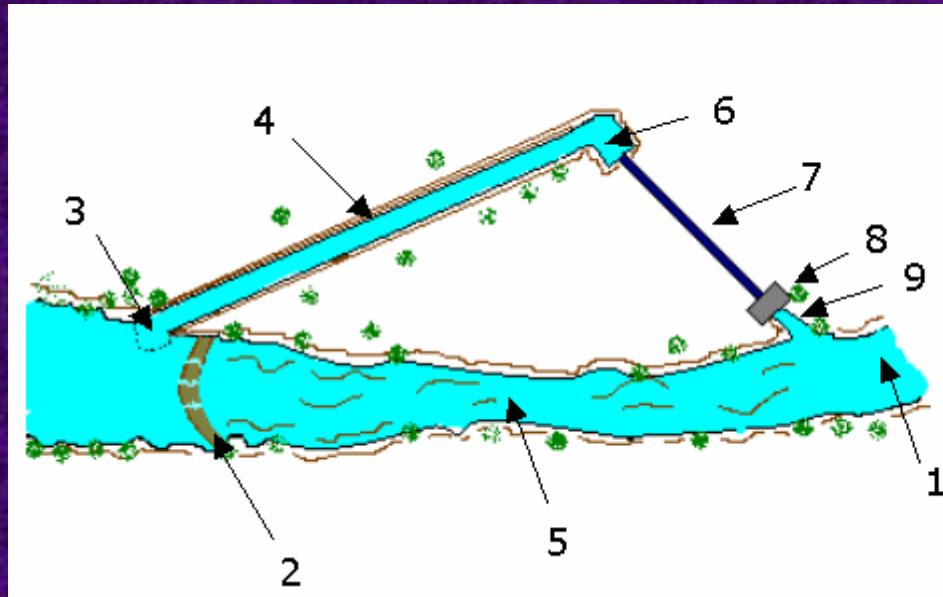
Tubería

Edificio con el equipamiento
electromecánico

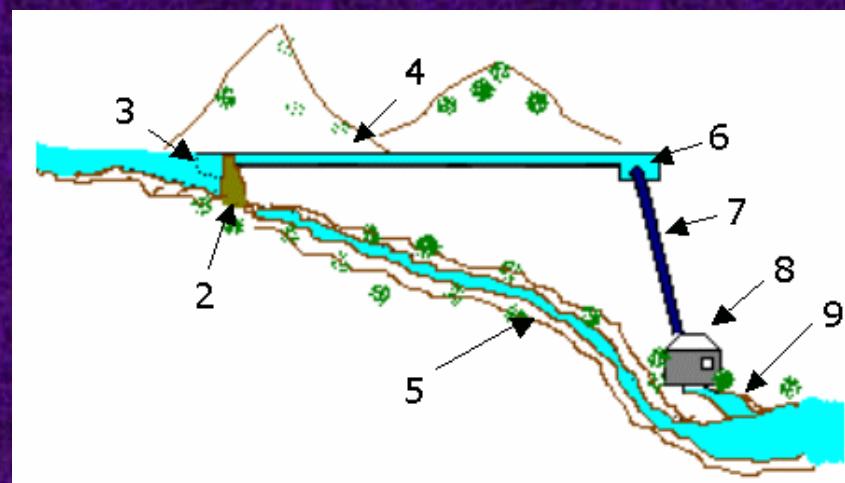
APROVECHAMIENTO

AGUA FLUYENTE:

Sin embalse regulador. Turbinan el caudal circulante.



- 1. Cauce aguas arriba
- 2. Azud
- 3. Obra de toma
- 4. Canal
- 5. Cauce con detacción de caudal
- 6. Cámara de carga
- 7. Tubería forzada

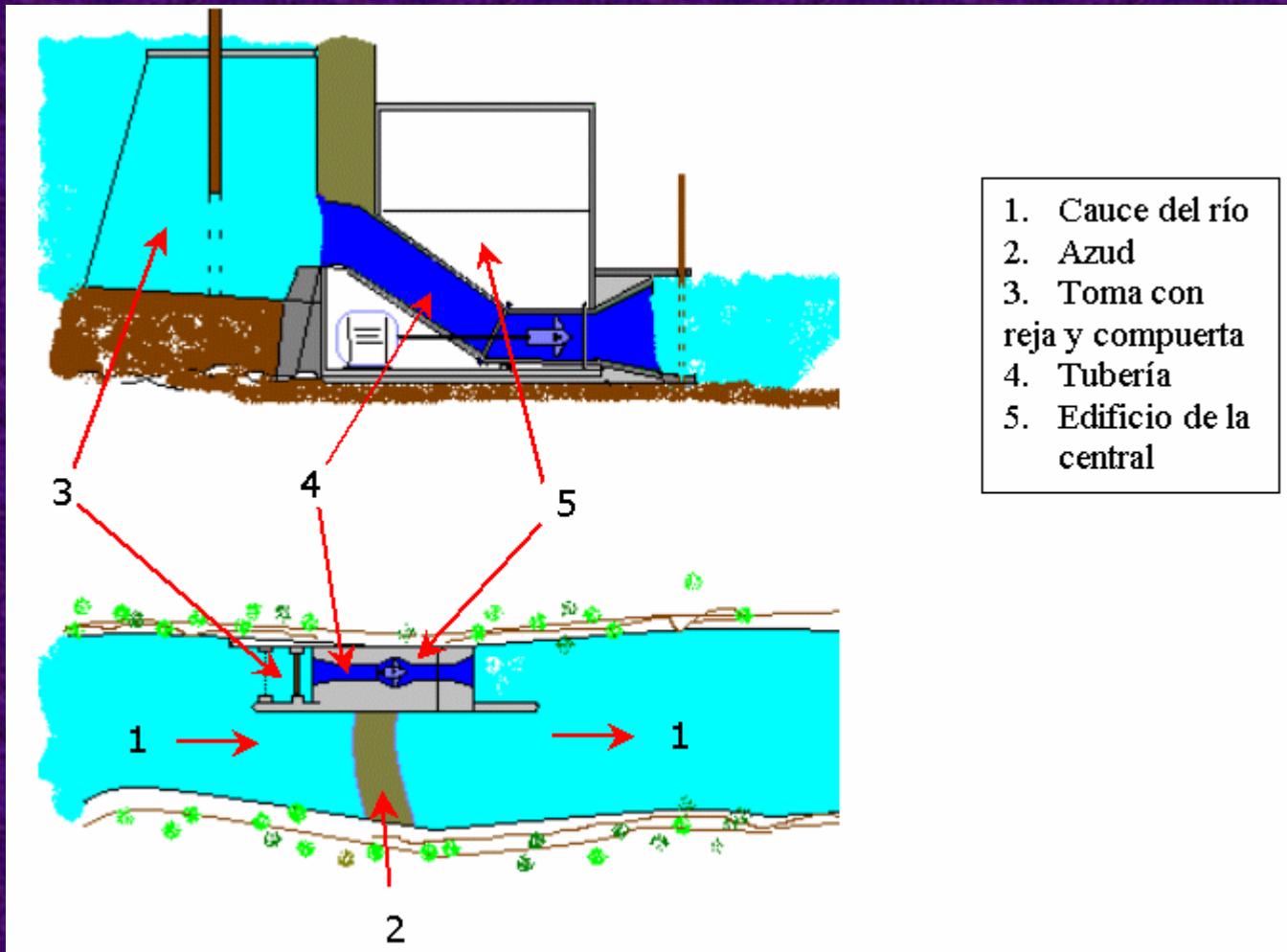


Derivando una
porción del caudal

APROVECHAMIENTO

AGUA FLUYENTE : Sin embalse regulador.

Turbinan el caudal circulante.

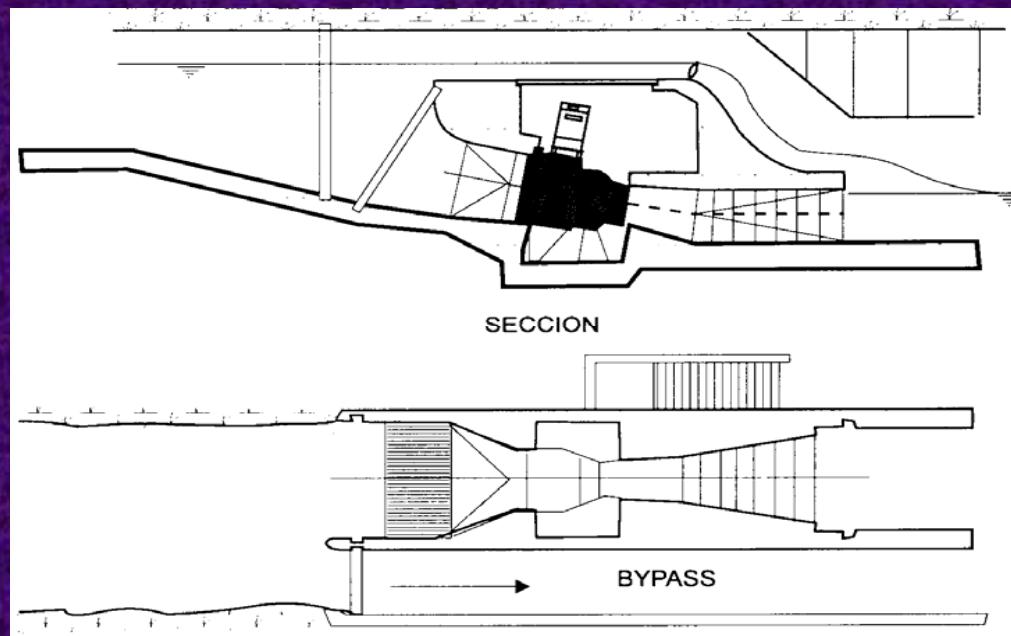


Directamente
en el cauce

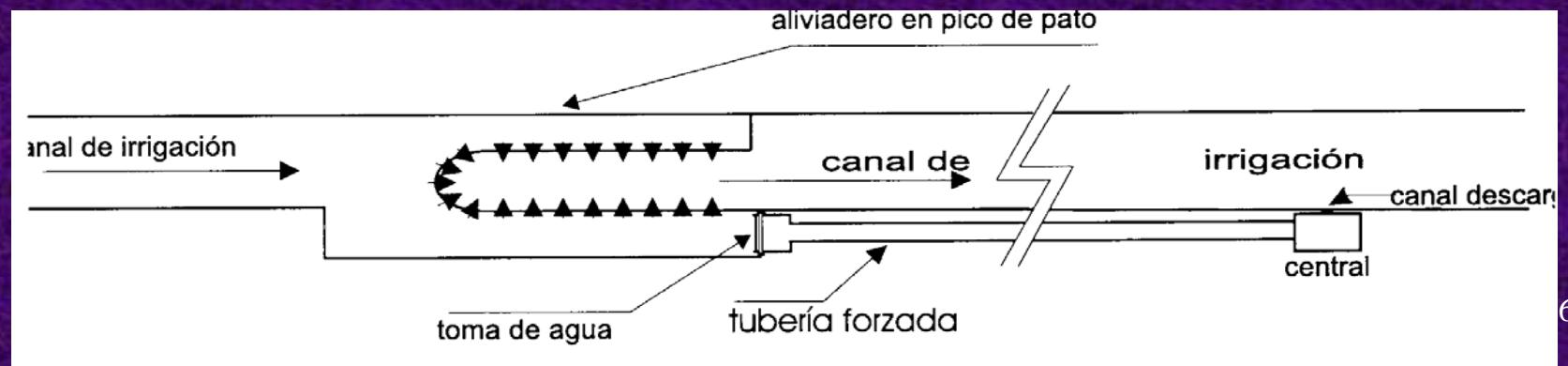
APROVECHAMIENTO

AGUA FLUYENTE : En canal de riego

Sumergida



Toma de agua lateral



APROVECHAMIENTO

AGUA FLUYENTE : Sin embalse regulador.

Turbinan el caudal circulante.

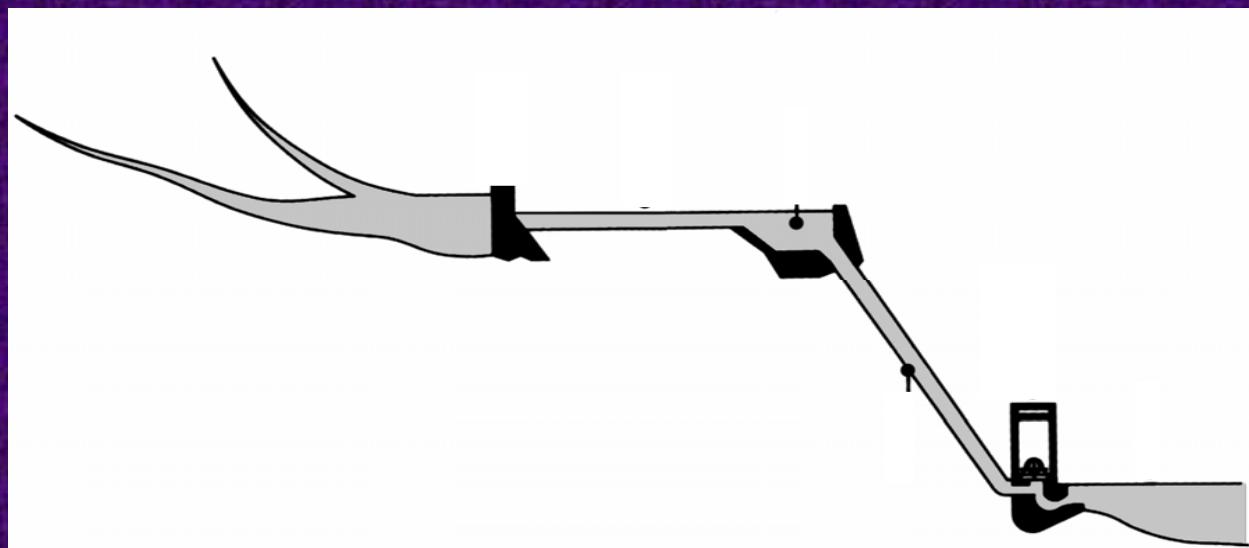
C.H Casablanca



APROVECHAMIENTO

MIXTAS :

Pequeño embalse de aportaciones, sin regulación o regulación horaria.

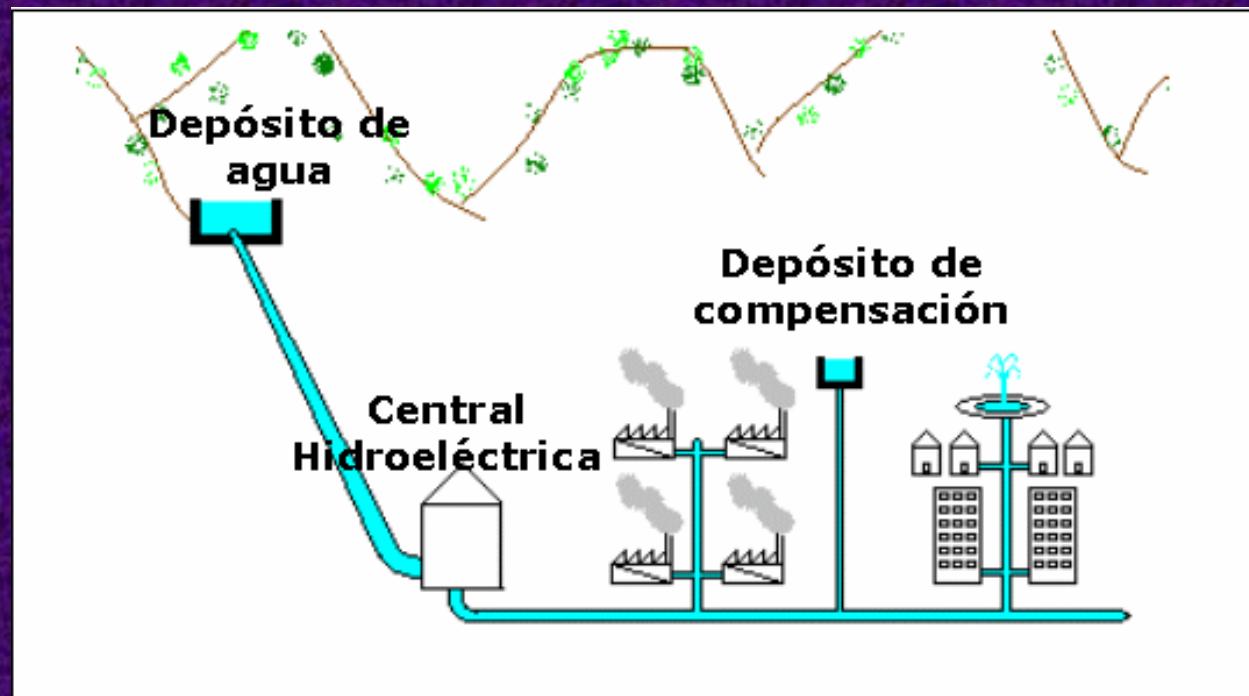


Presa de aportaciones
Canal de derivación
Toma de agua con compuertas y rejas
Cámara de carga
Tubería de presión
Chimenea de equilibrio
Edificio con el equipamiento electromecánico
Devolución del caudal aguas abajo

APROVECHAMIENTO

EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Sustituyendo las válvulas de disipación
de energía hidrostática por turbinas



OBRA CIVIL

- Casa de máquinas
- Elementos de retención y almacenaje de agua
- Elementos de evacuación controlada de caudal
- Elementos de conducción de agua
- Elementos de apertura, cierre y regulación del paso de agua

CASA DE MÁQUINAS

Protege el equipamiento electro-mecánico de las inclemencias meteorológicas

Ubicación

Características geológicas

Accesibilidad

Cercanía al salto

Diseño

Número, tipo y potencia de las turbinas

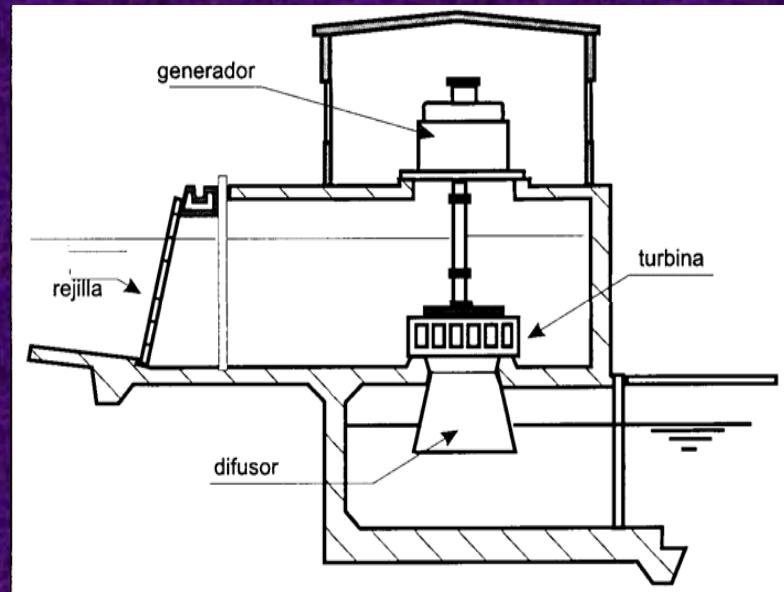
Minimización de costes

Impacto medioambiental

CASA DE MÁQUINAS

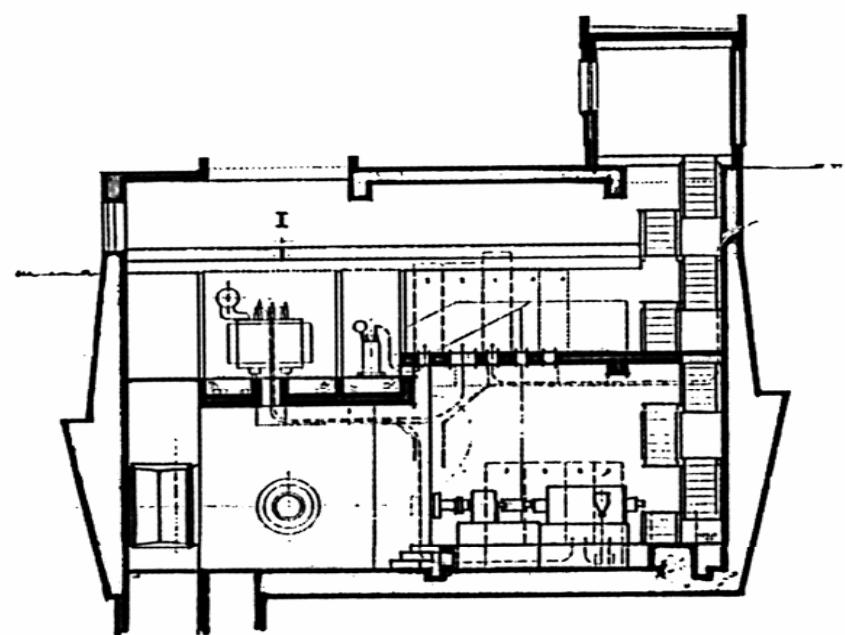
Protege el equipamiento electro-mecánico de las inclemencias meteorológicas

Edificios de Exterior



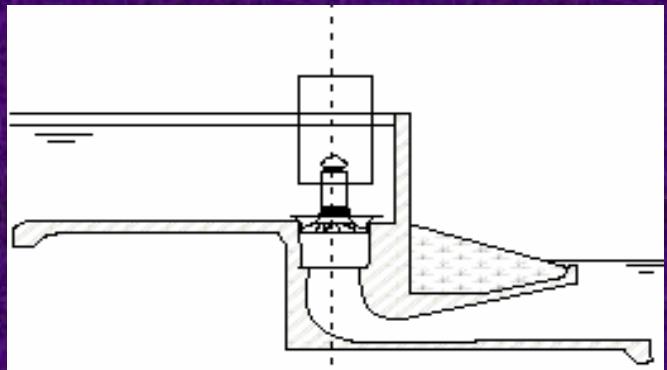
Estructura única, con azud,
cámara de carga

Edificios Subterráneos



CASA DE MÁQUINAS

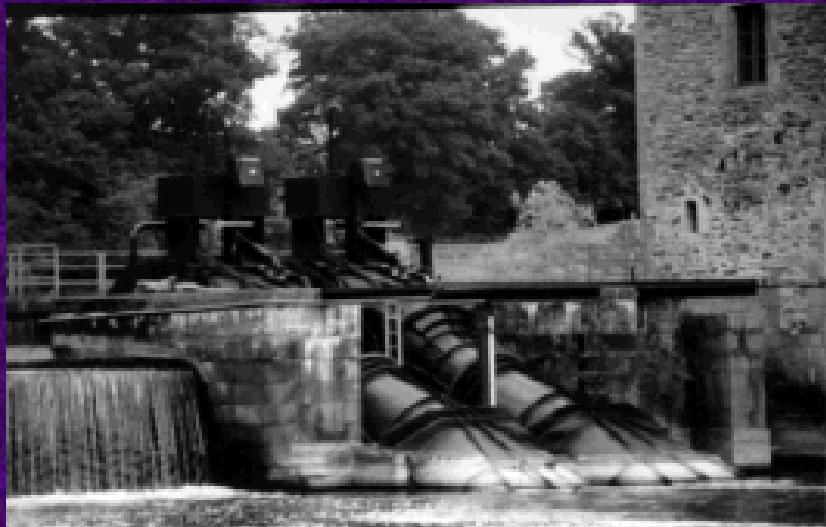
Protege el equipamiento electro-mecánico de las inclemencias meteorológicas



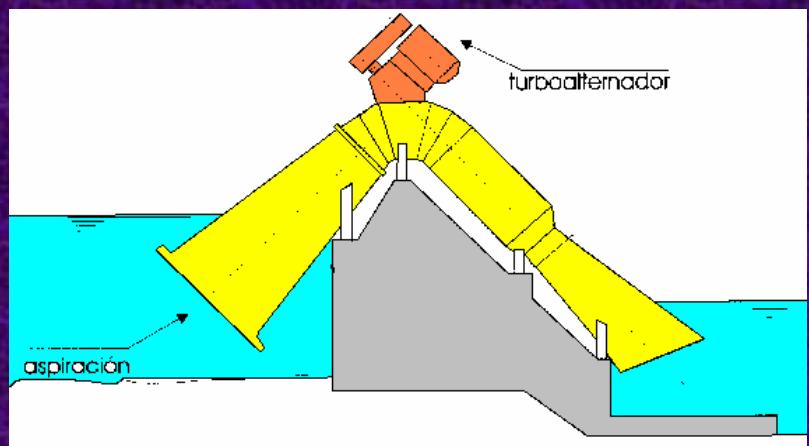
Extremo contrario: turbina Flyght sumergida en la toma de agua junto con el generador

CASA DE MÁQUINAS

Protege el equipamiento electro-mecánico de las inclemencias meteorológicas

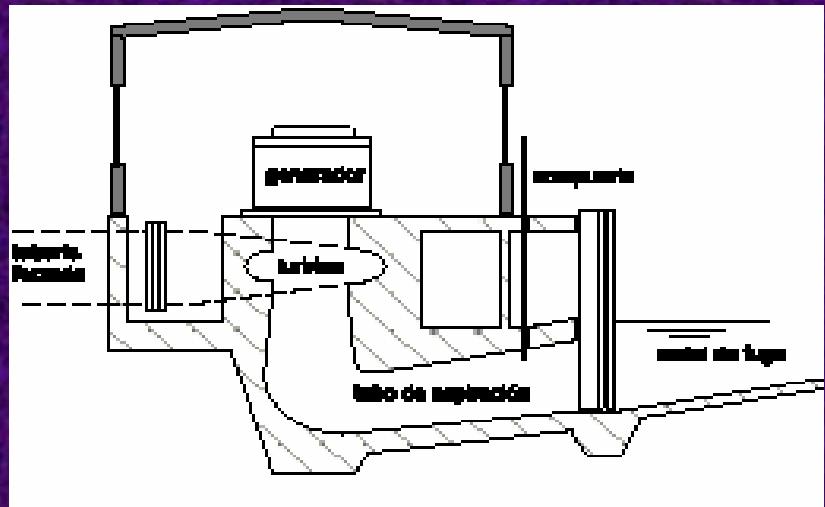


Centrales en sifón, apropiadas para saltos de menos de 10 m. de altura y potencias inferiores a 1000 kW.
Tienen el grupo turbo-alternador al aire o protegido por una chapa



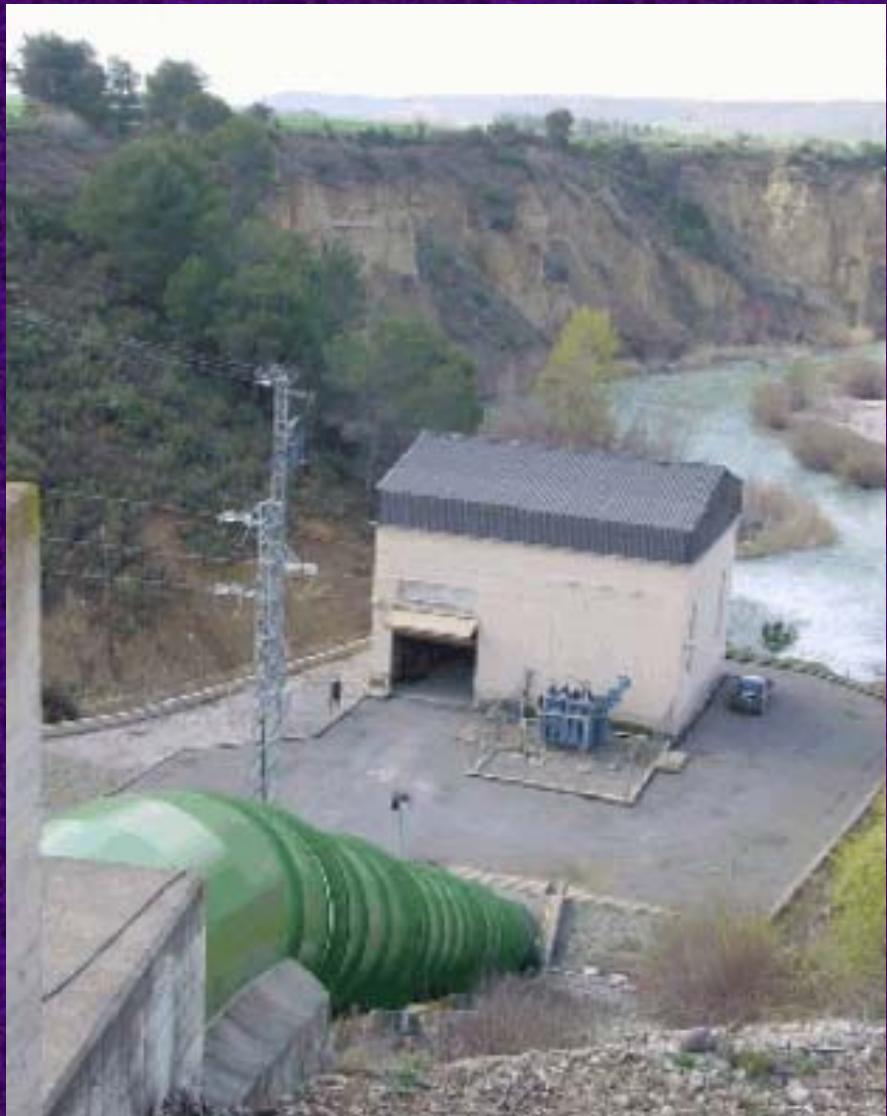
CASA DE MÁQUINAS

Protege el equipamiento electro-mecánico de las inclemencias meteorológicas



Centrales de salto medio-grande, hay entrada para la tubería forzada y un difusor previo al canal de descarga

CASA DE MÁQUINAS



En la imagen se observa el típico edificio prefabricado de CH. Se trata de la CH de Valdespartera.

En él entra la tubería hacia una turbina Kaplan de eje vertical, sobre la que se sitúa el generador.

El edificio consta de tres niveles.

Dispone de un puente grúa para poder sacar la turbina y el generador.

El transformador de potencia queda ubicado en el exterior del edificio.

En la imagen inferior se observa el generador, los armarios de control y las celdas de media tensión.

PRESAS

Fin primordial



Aumentar el salto de agua

Permitir la regulación del caudal

MUY COSTOSA



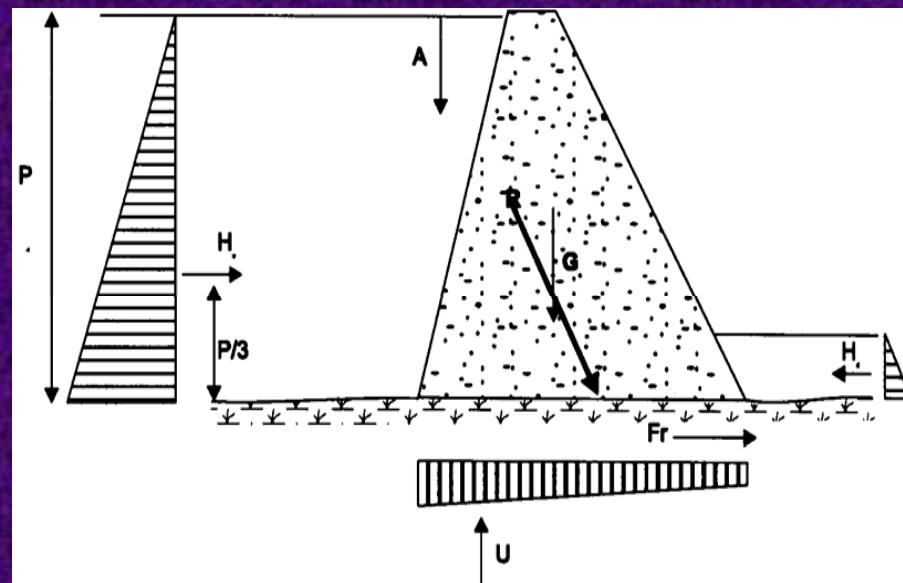
Riego

Prevención de avenidas

Suministro de agua potable ...

PRESAS

Deben soportar diversos esfuerzos



Verticales

- { Peso de la presa
 - Presión hidrostática
-
- Horizontales
- { Empuje de sedimentos
 - Presión hidrostática

PRESAS

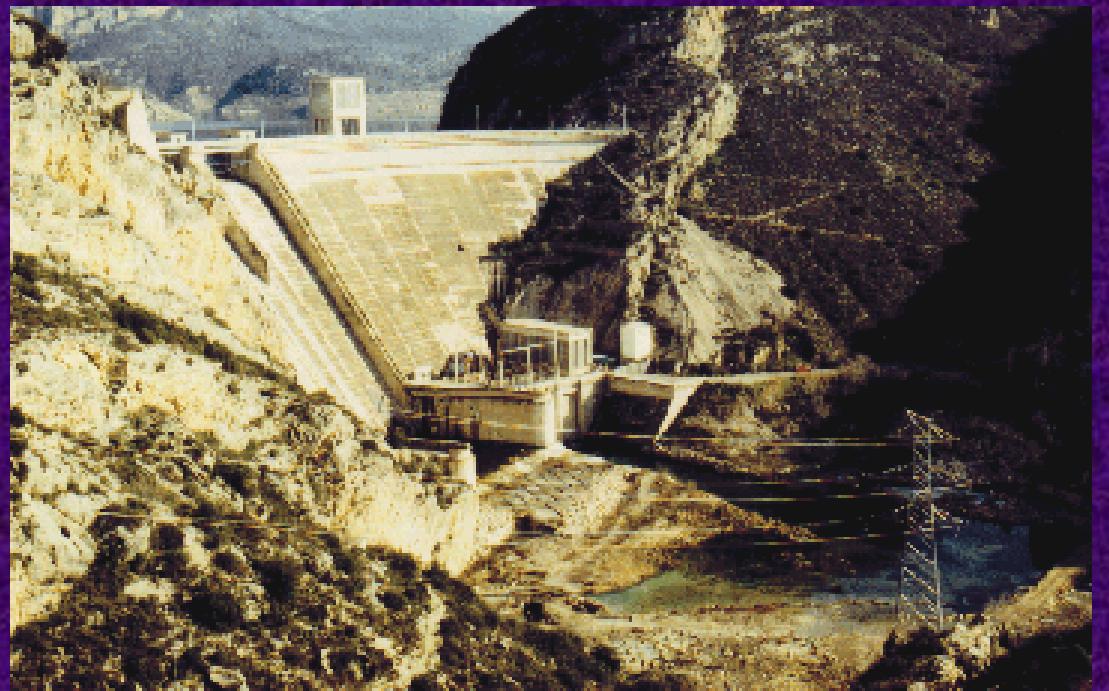
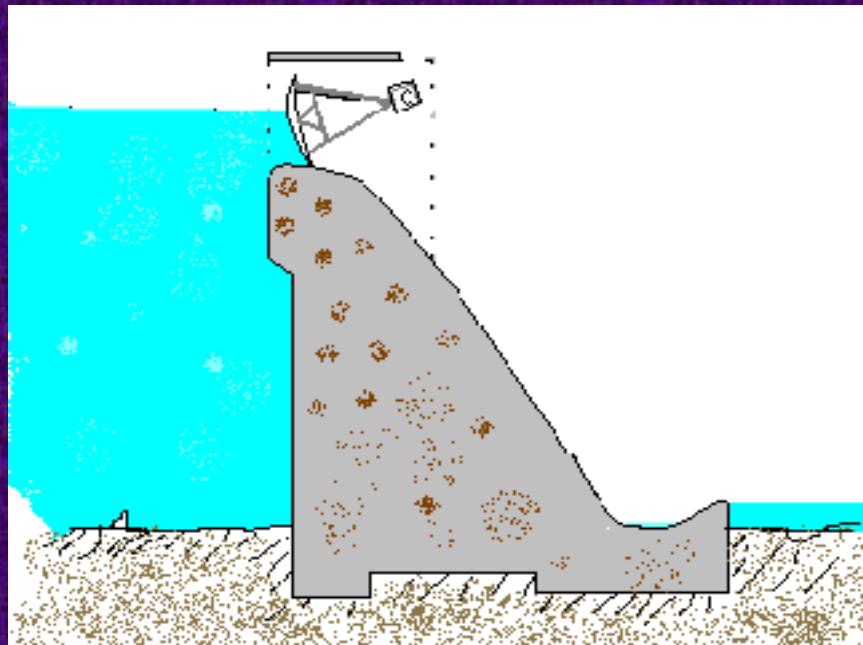
CLASIFICACIÓN

- De Gravedad
- De Contrafuertes
- De Arco
- De Bóveda
- Combinaciones

PRESAS

CLASIFICACIÓN

De Gravedad



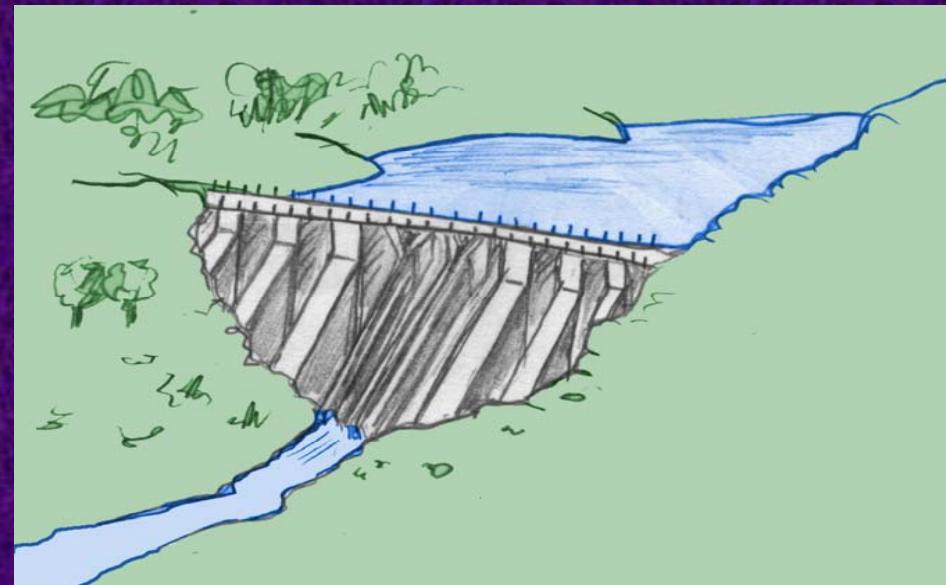
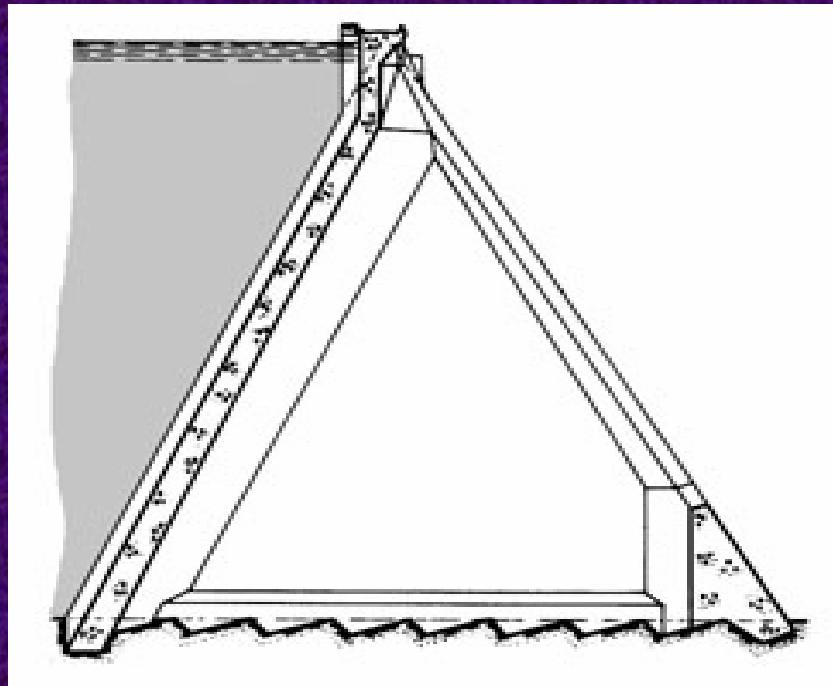
El empuje del agua se contrarresta con el propio peso de la presa que esta bien anclada al suelo.

Hormigón o materiales sueltos

PRESAS

CLASIFICACIÓN

De Contrafuertes

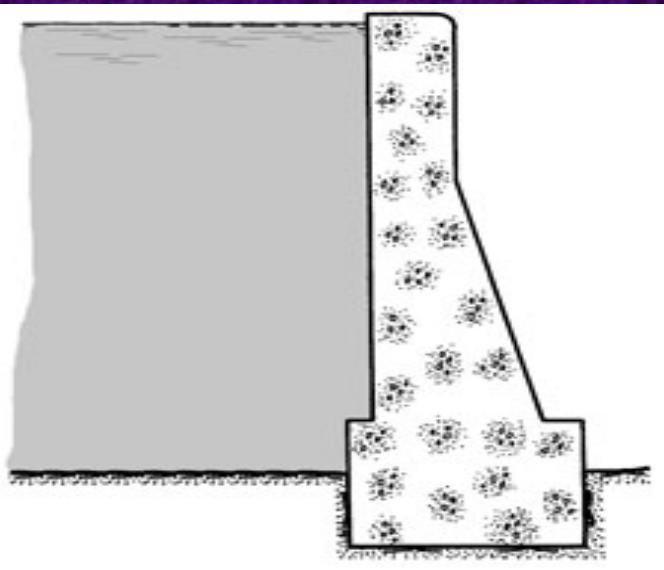
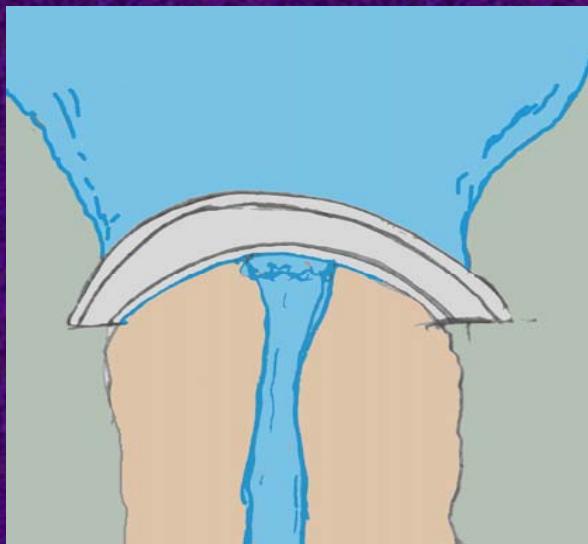


Similar a la anterior

Perfil variable con tramos de menor sección para aligerar la presa.

PRESAS

De Arco



Transmiten el empuje a los laterales,
especialmente robustos.

Forma curva

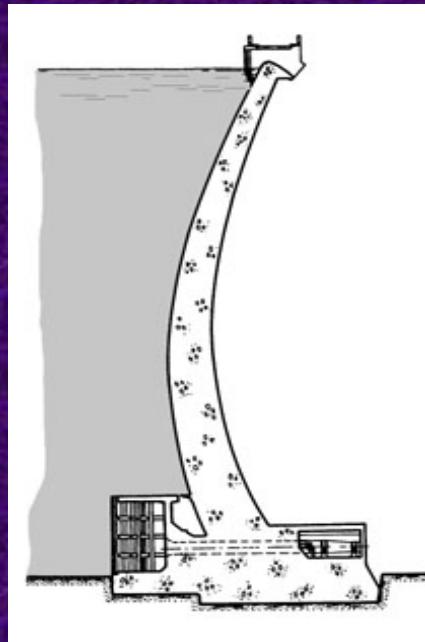


Presa de arco-gravedad. Presa de Ardisa

PRESAS

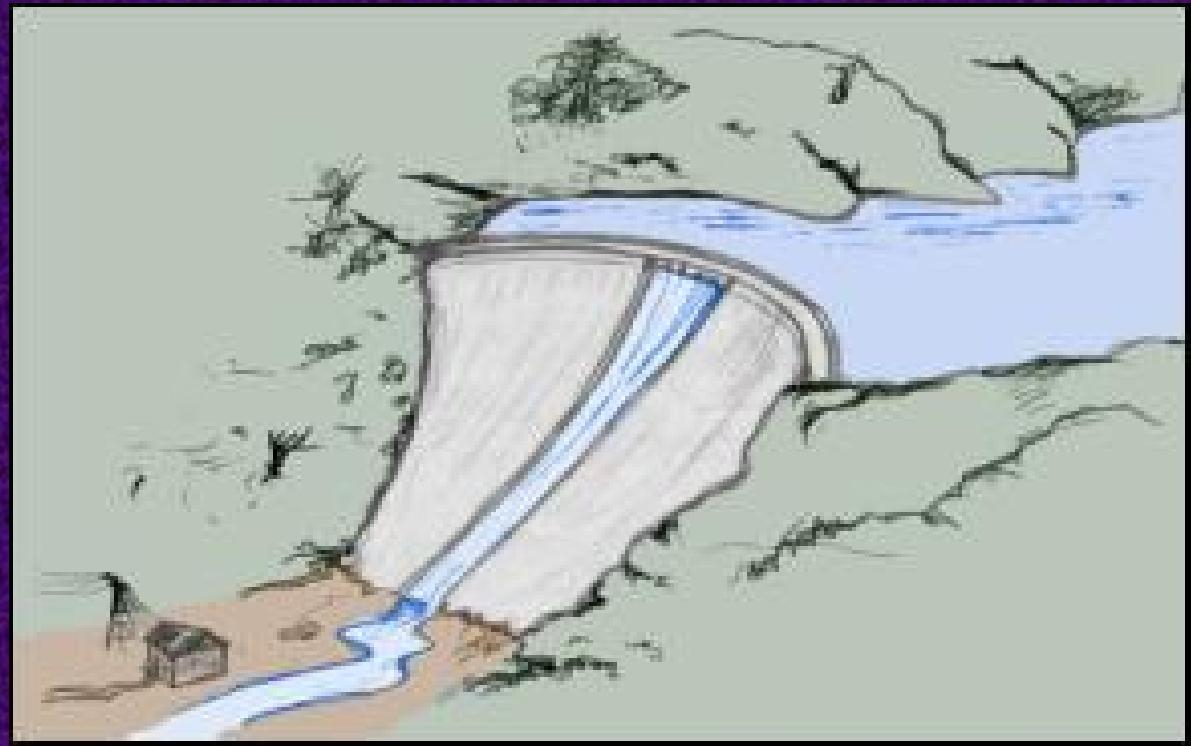
CLASIFICACIÓN

De Bóveda



Transmiten el empuje a los laterales

Forma aboveada

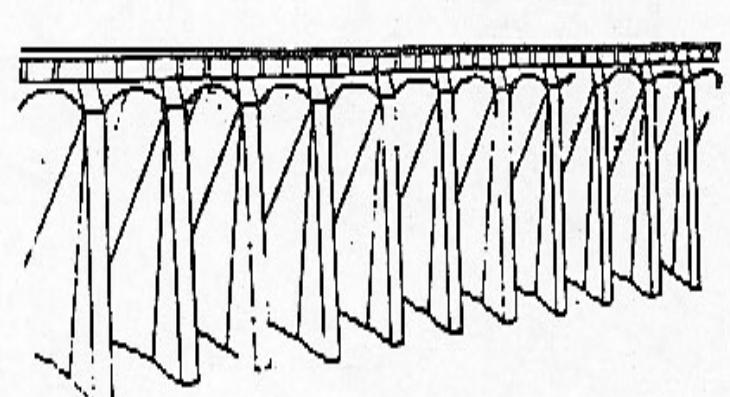


Estas presas se construyen en valles profundos y estrechos.

PRESAS

CLASIFICACIÓN

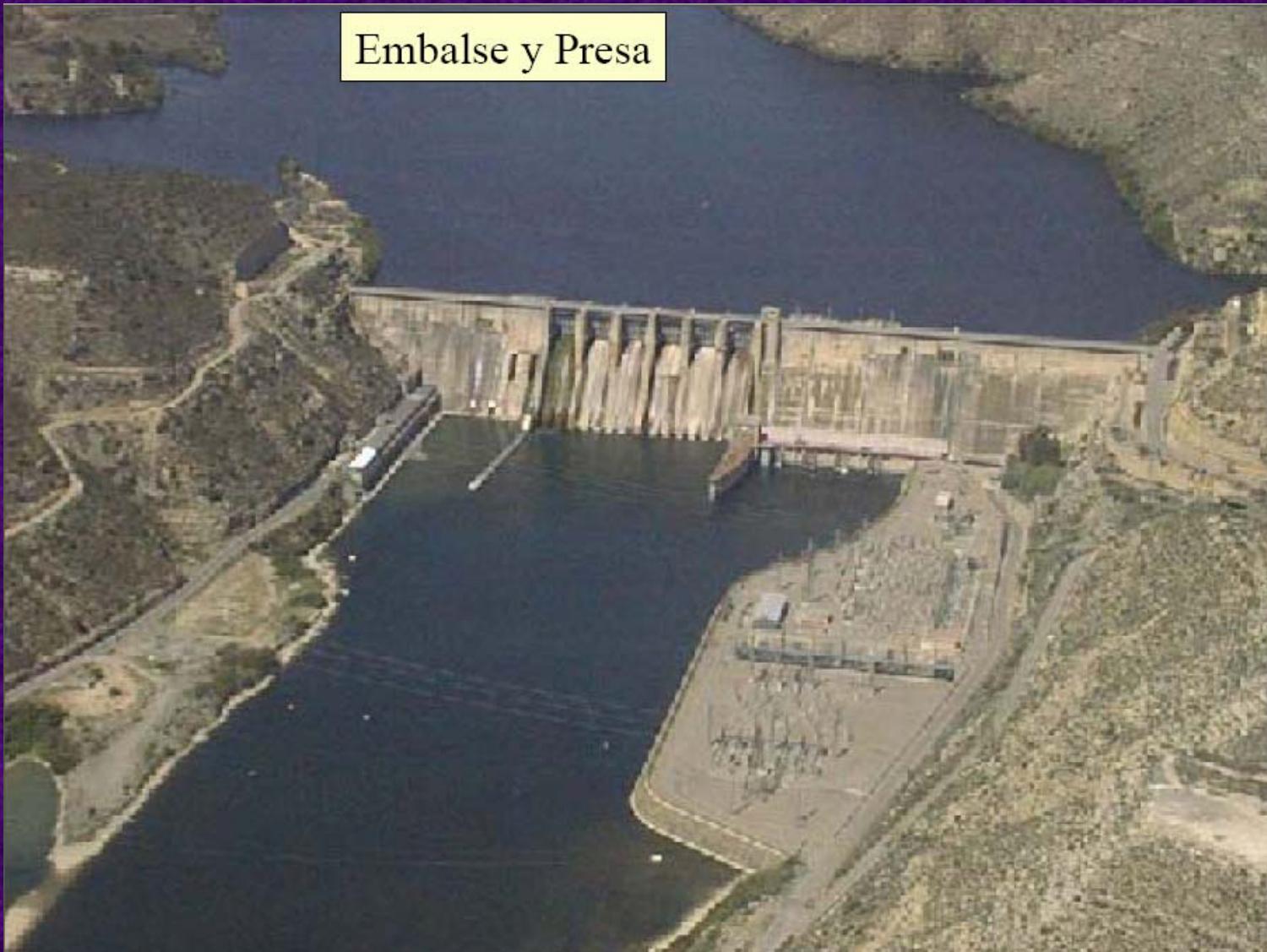
Combinaciones



Presa de Contrafuertes
con arcos múltiples

PRESAS

Embalse y Presa



PRESAS

Presas y Aliviaderos

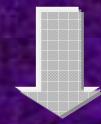


AZUDES

Muros transversales al cauce del río

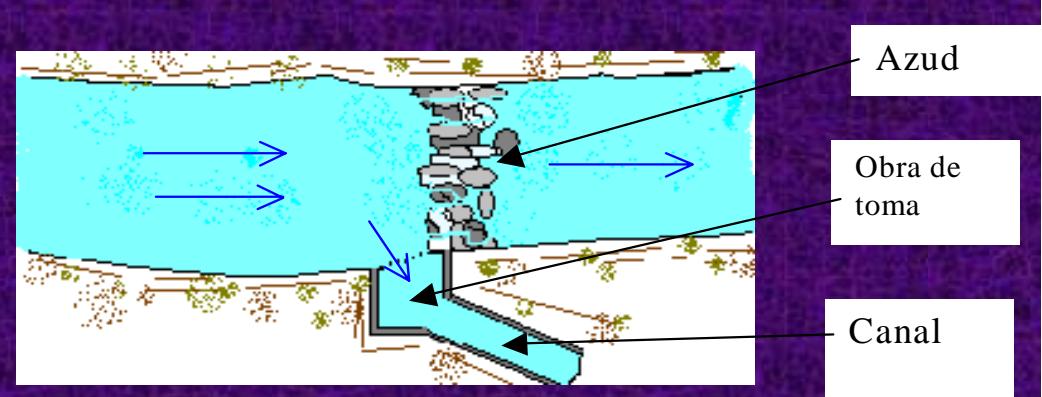
Habituales en Centrales de Agua Fluyente

Finalidad



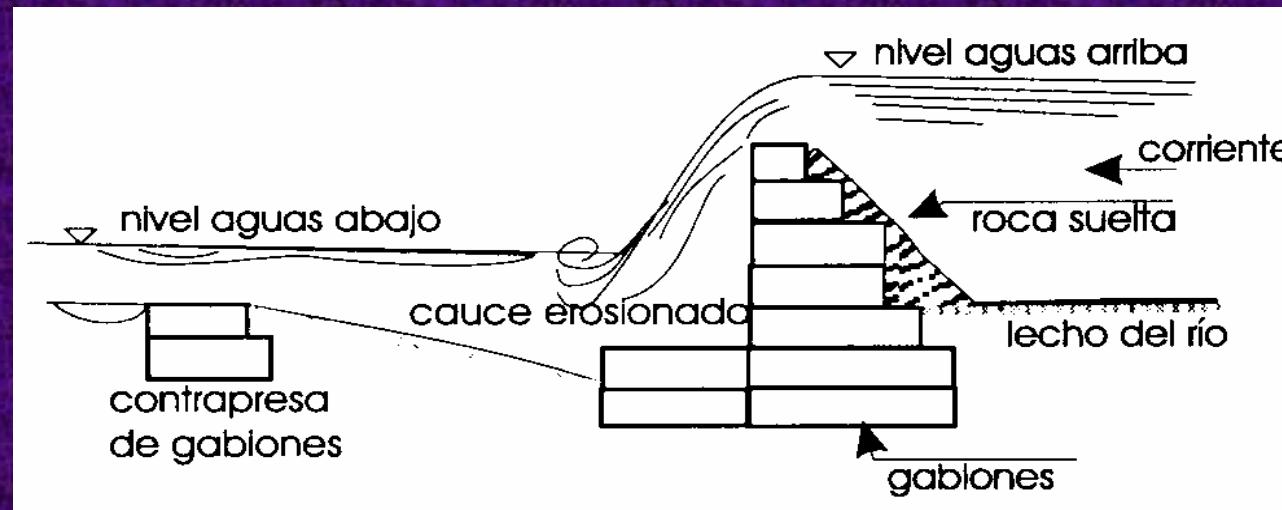
Elevar el nivel del agua

Desviar parte del agua hacia la toma



AZUDES

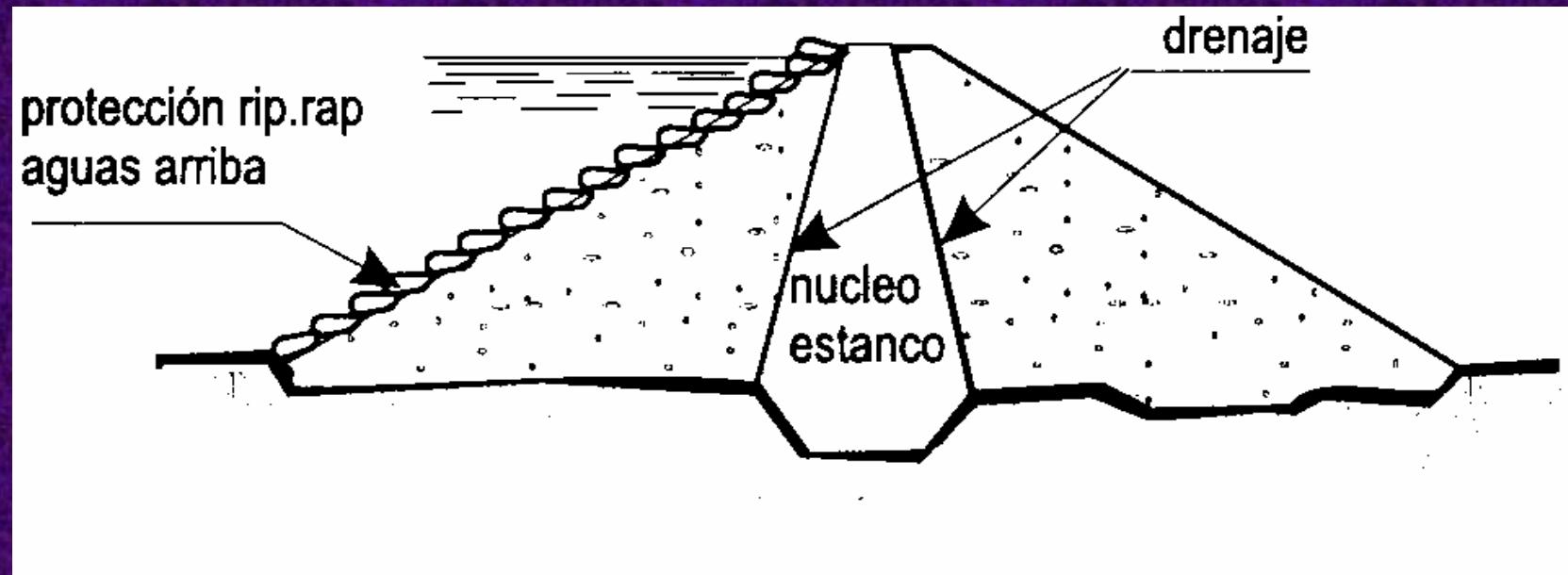
El agua no desviada rebosa por encima



Simples {

- Muro rocoso sobre el cauce
- Gaviones recubiertos con roca suelta

AZUDES



Complejos {

- Hormigón o ladrillo
- Con protección aguas arriba
- Sistema de drenaje
- Núcleo estanco....

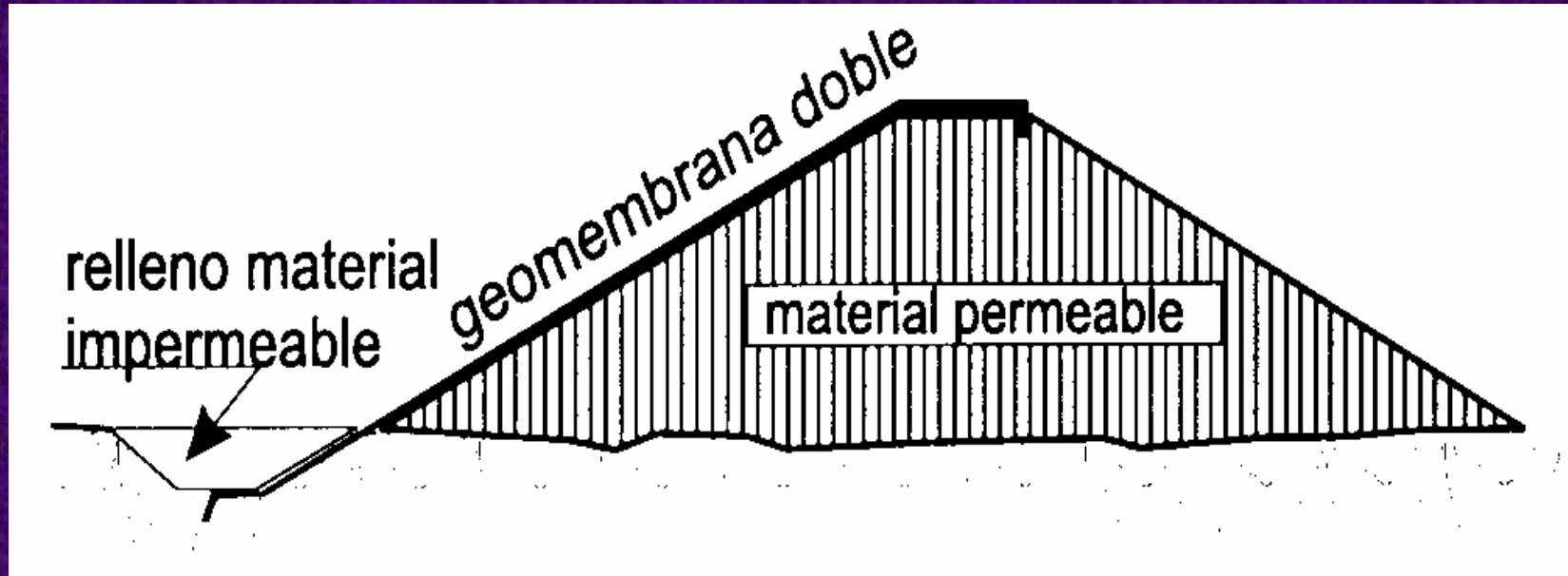
OBRA CIVIL

RETENCIÓN Y ALMACENAJE

AZUDES



AZUDES

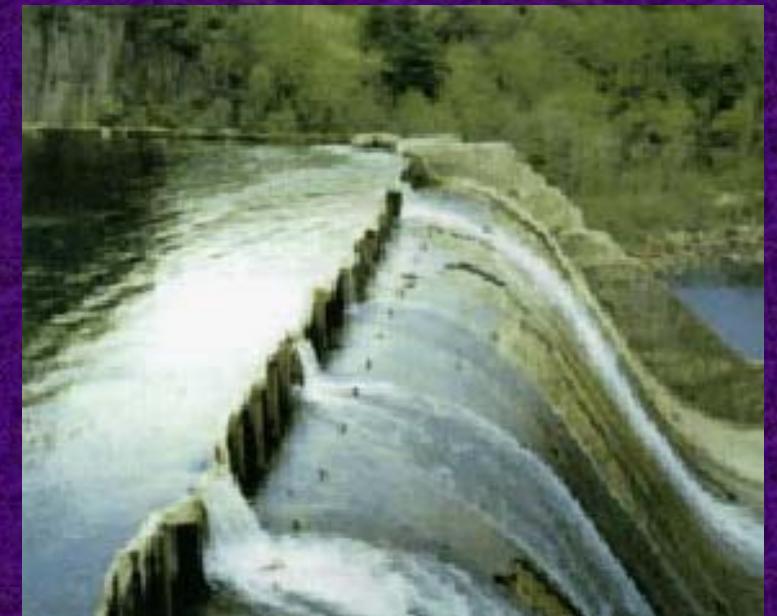
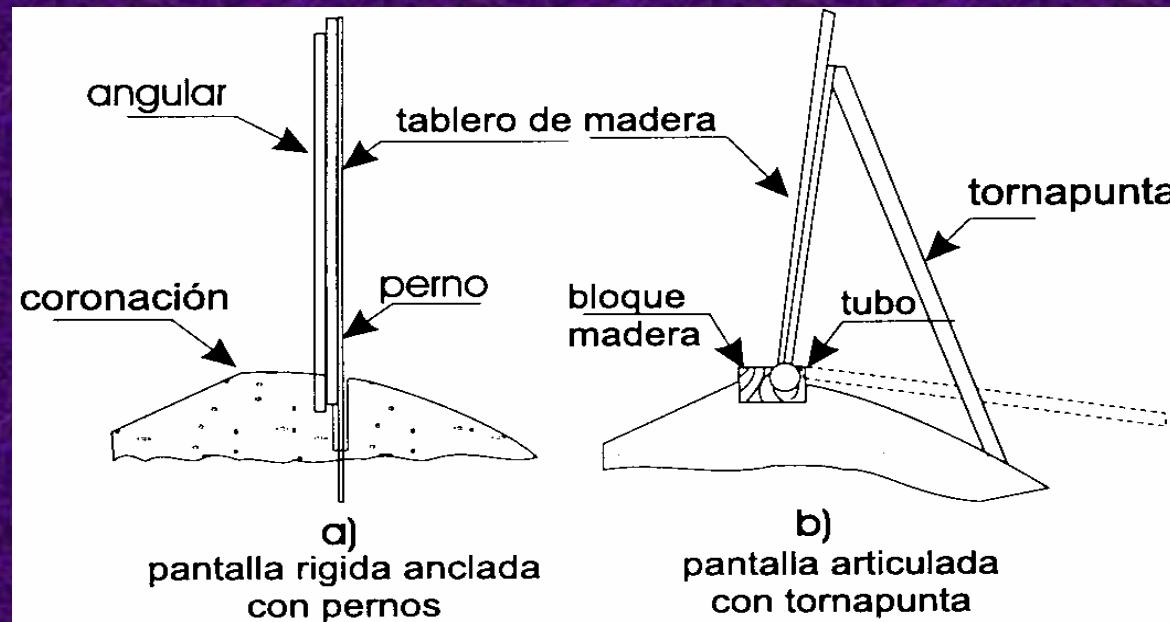


Complejos

- {
 - Hormigón o ladrillo
 - Con protección aguas arriba
 - Sistema de drenaje
 - Núcleo estanco....

AZUDES

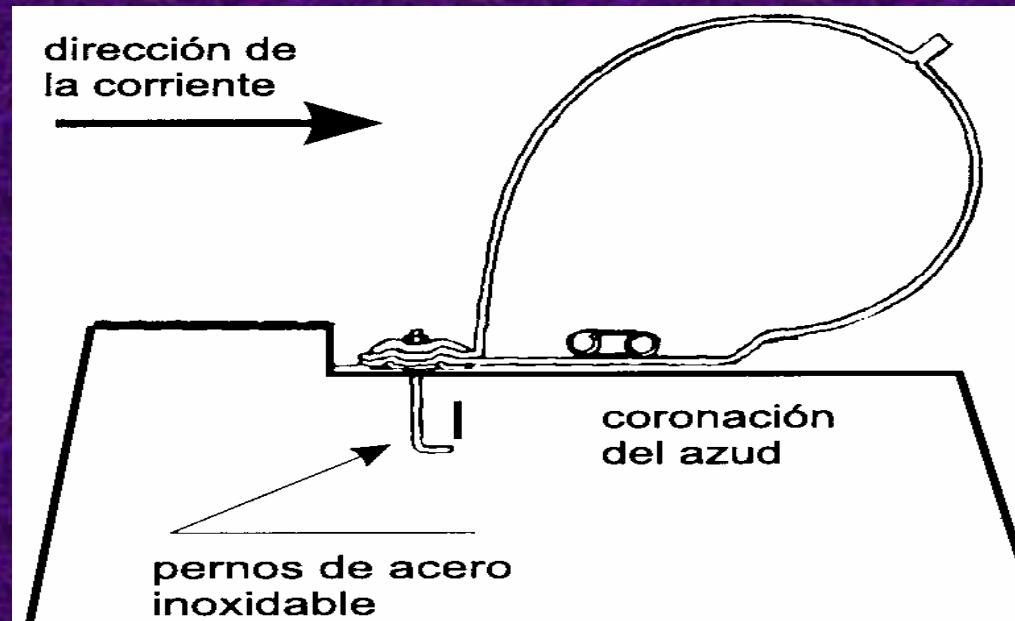
Dispositivos para elevar la altura del agua



En caso de avenida se eliminan para evitar desbordamientos

AZUDES

Dispositivos para elevar la altura del agua



Vejiga de material sintético hinchable

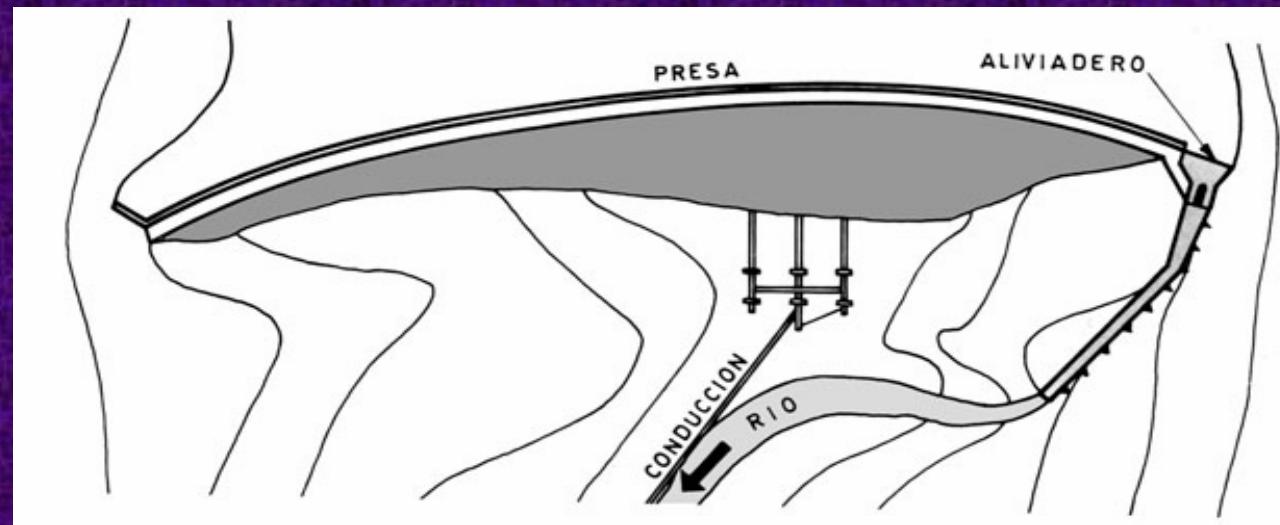
AZUDES



ALIVIADEROS

Permiten la evacuación del caudal sobrante sin que la presa o el azud sufran daños

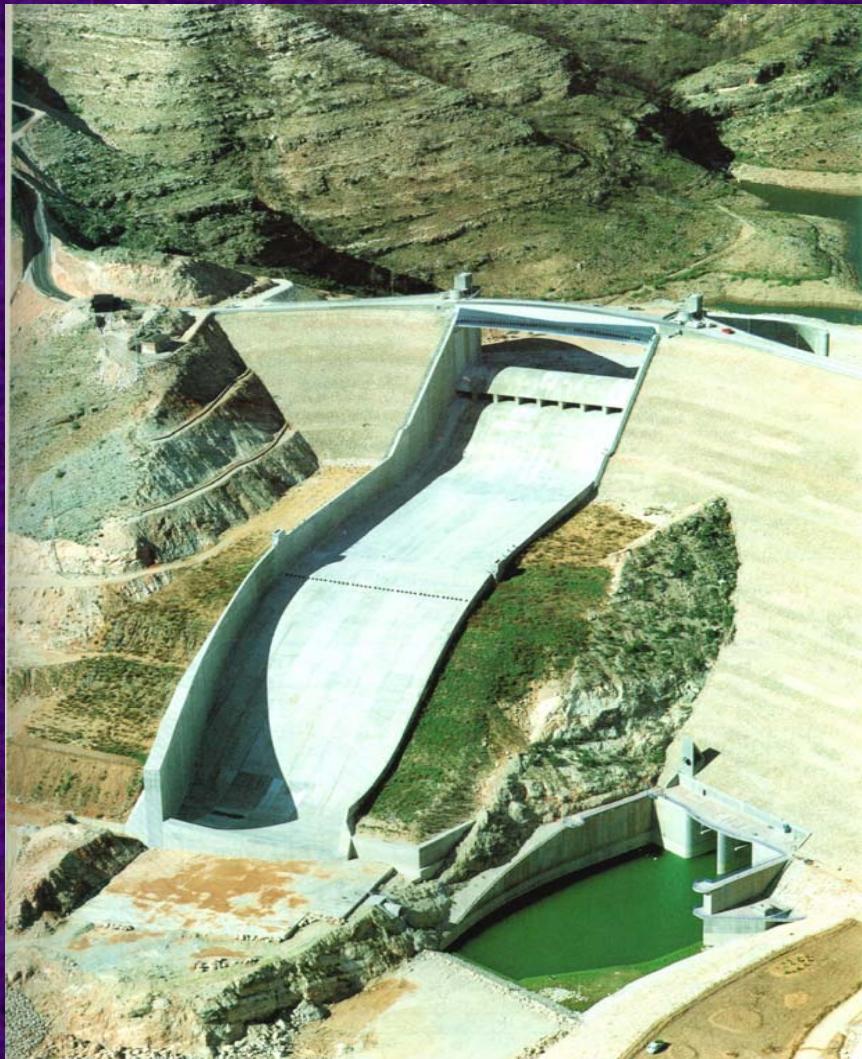
- En Presas {
- De superficie
 - Túneles aliviaderos
 - De emergencia



OBRA CIVIL

EVACUACIÓN CONTROLADA

ALIVIADEROS



OBRA CIVIL

EVACUACIÓN CONTROLADA

ALIVIADEROS



Aliviadero



Foto 9.- Bloques de hormigón para disipar la energía a la salida del aliviadero (presa de Ardisa)

ALIVIADEROS



Aliviadero en canal de riego

OBRA CIVIL

EVACUACIÓN CONTROLADA

ALIVIADEROS



Aliviadero de pico de pato
en funcionamiento

Aliviadero de pico de pato
vacío

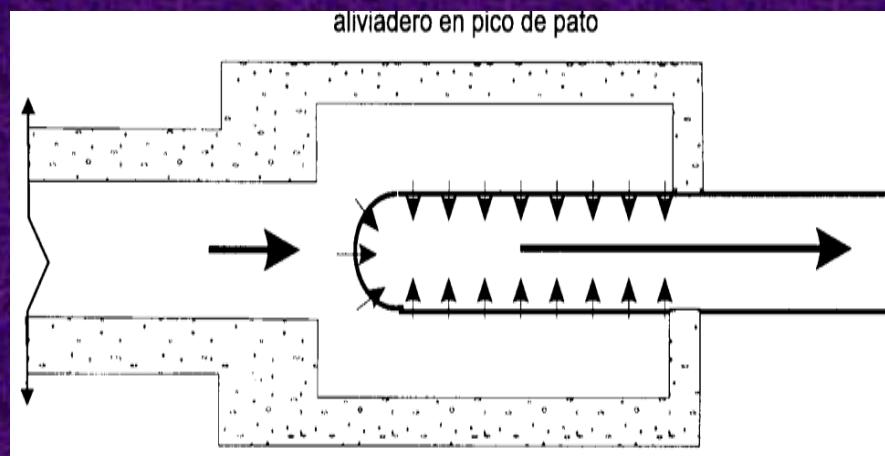


ALIVIADEROS

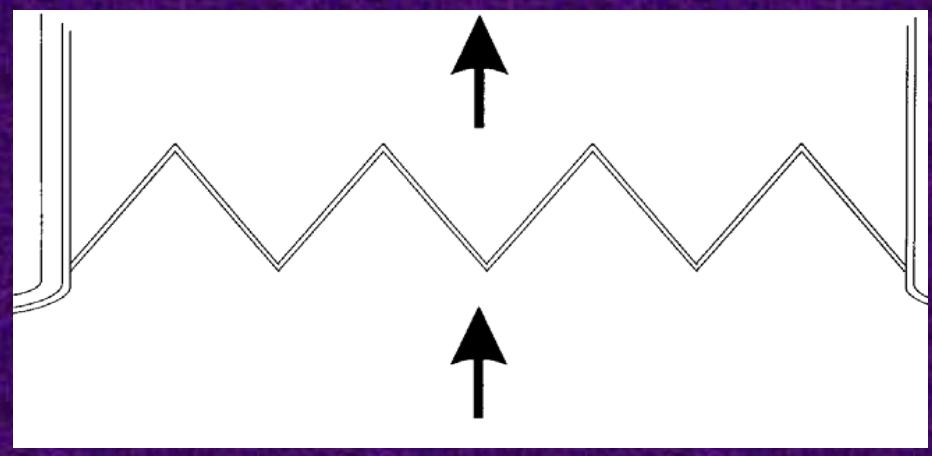
Permiten la evacuación del caudal sobrante sin que la presa o el azud sufran daños

Otros : en azudes, canales , obras de toma....
Con problemas topográficos o de espacio

Aliviadero en pico de pato



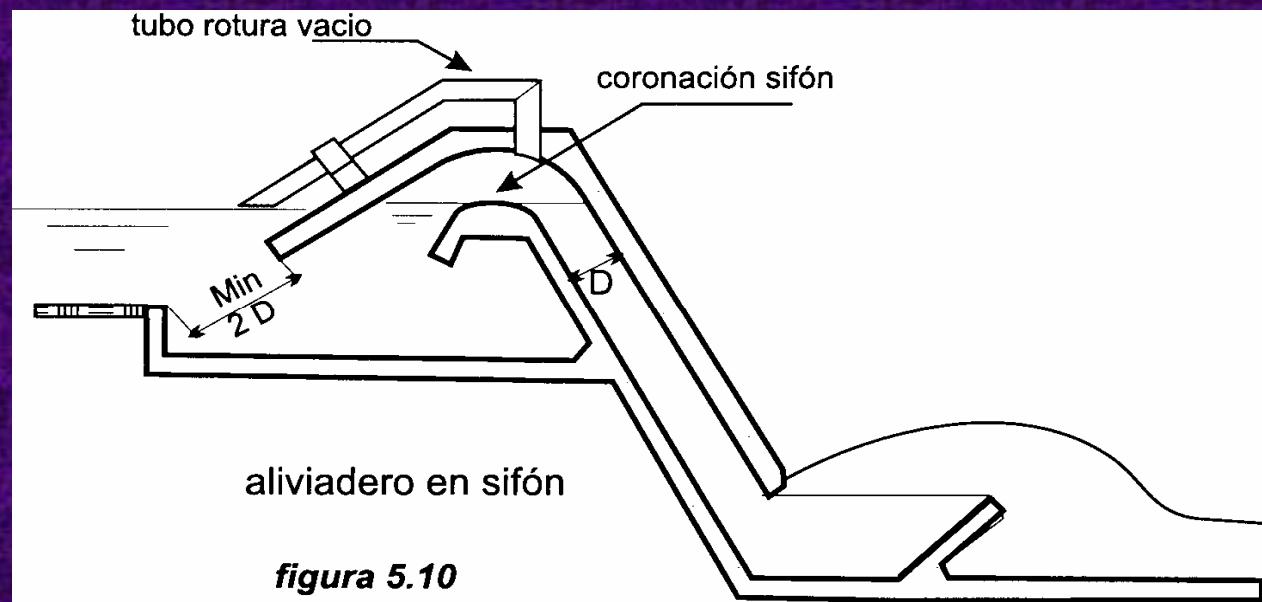
Aliviadero en laberinto



ALIVIADEROS

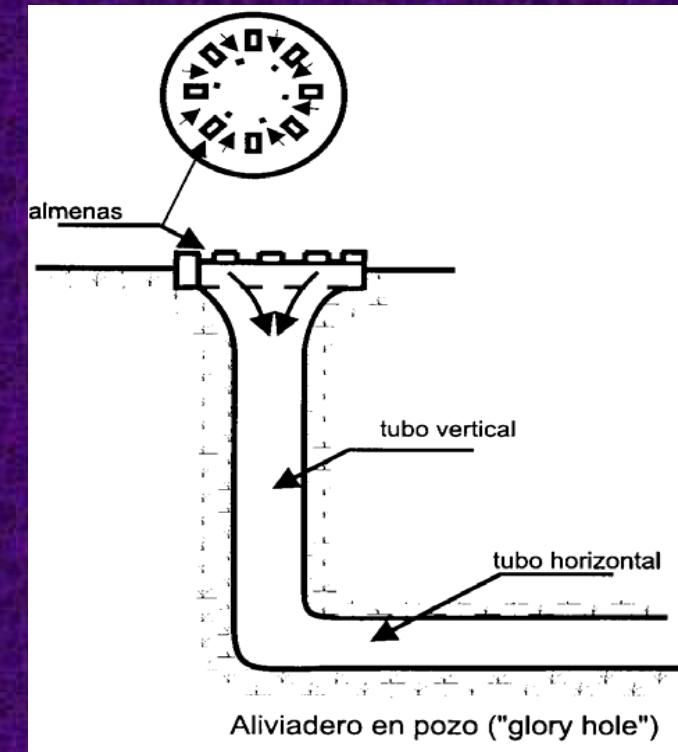
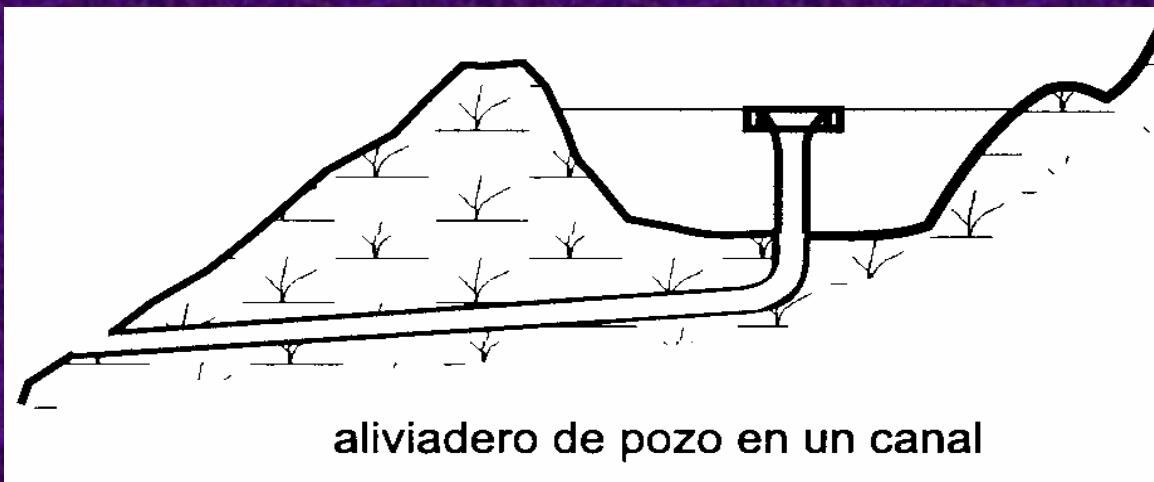
Evacuan el agua cuando ésta supera cierto nivel haciendo que se produzca el cebado del sifón, dejando de funcionar cuando queda descebado.

Aliviadero en sifón



ALIVIADEROS

Aliviadero en pozo



DESAGÜES

De Fondo

Conductos horizontales que atraviesan la presa cerca de las cimentaciones.

Funciones

Control de agua evacuada
Vaciado

De Medio Fondo

Conductos horizontales que atraviesan la presa a media altura en laterales y centro.

Funciones

Regulación del nivel del embalse
Elemento de seguridad

ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN

- Obras de Toma
- Canales
- Túneles y Galerías
- Cámara de Carga
- Tubería Forzada
- Cámara de Turbina

OBRA DE TOMA

Capta el agua desviándola hacia la Central

Criterios de Diseño

Hidráulicos : Asegurar el caudal con la mínima pérdida de carga

Operativos: eliminación de impurezas y objetos, sedimentos, facilidad de limpieza, no verse afectado por la existencia de hielo.

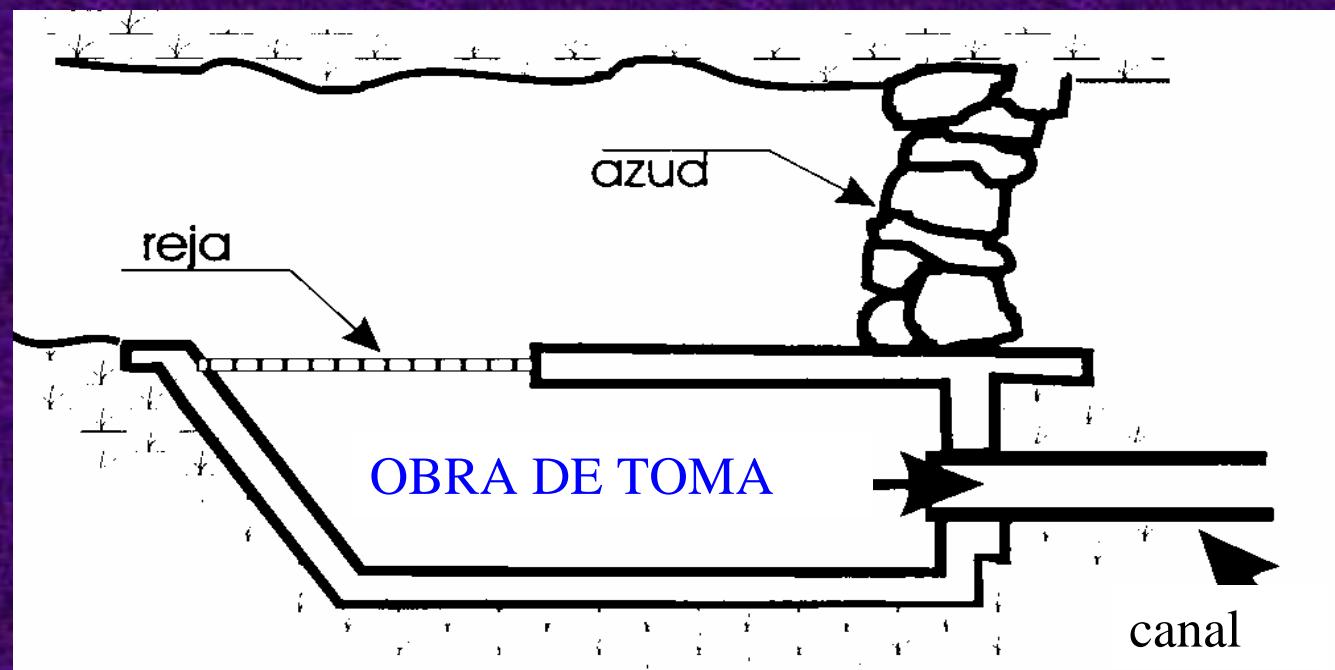
Ambientales: integración con el paisaje, impedir entrada de peces

OBRA DE TOMA

Capta el agua desviándola hacia la Central

Tipos

En Azud hacia Canal

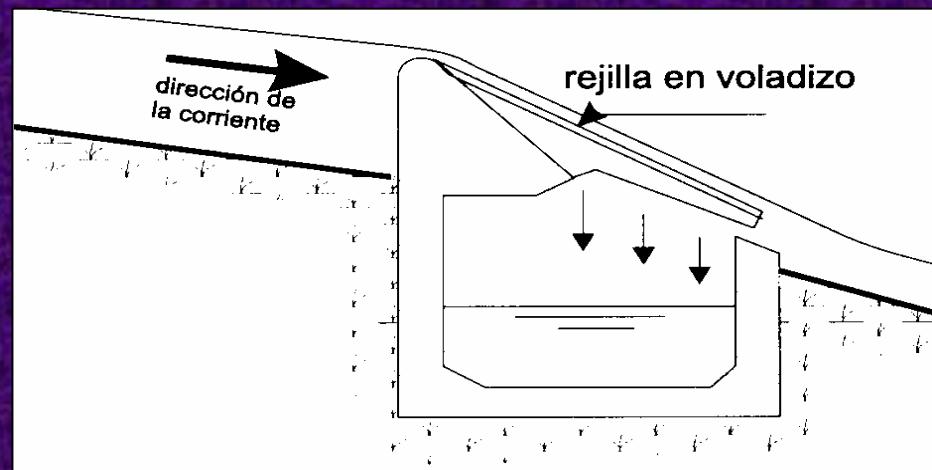
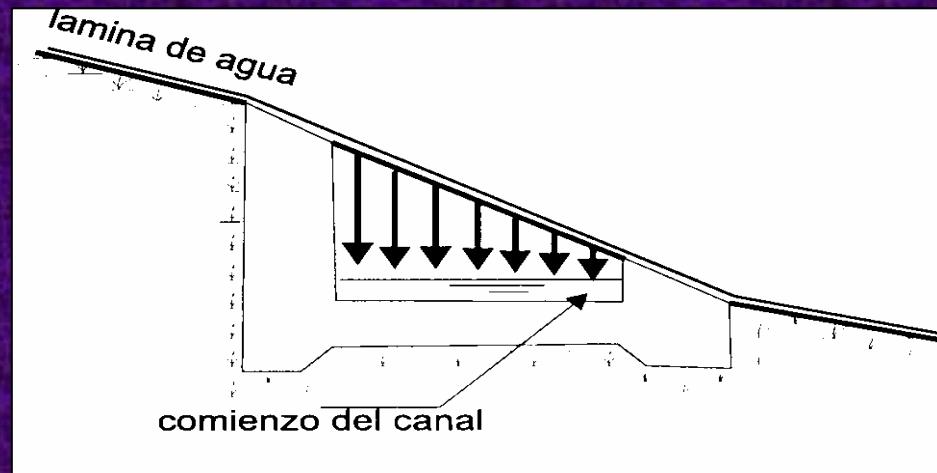


OBRA DE TOMA

Capta el agua desviándola hacia la Central

Tipos

Bajo el cauce o en el aliviadero
(típico en ríos de montaña)



- En la toma se dispone una rejilla en dirección paralela a la corriente para evitar que quede colmatada por los guijarros arrastrados. Dado que en ocasiones esto es difícil de evitar, para mejorar los resultados las rejillas pueden colocarse en voladizo. 57

OBRA DE TOMA

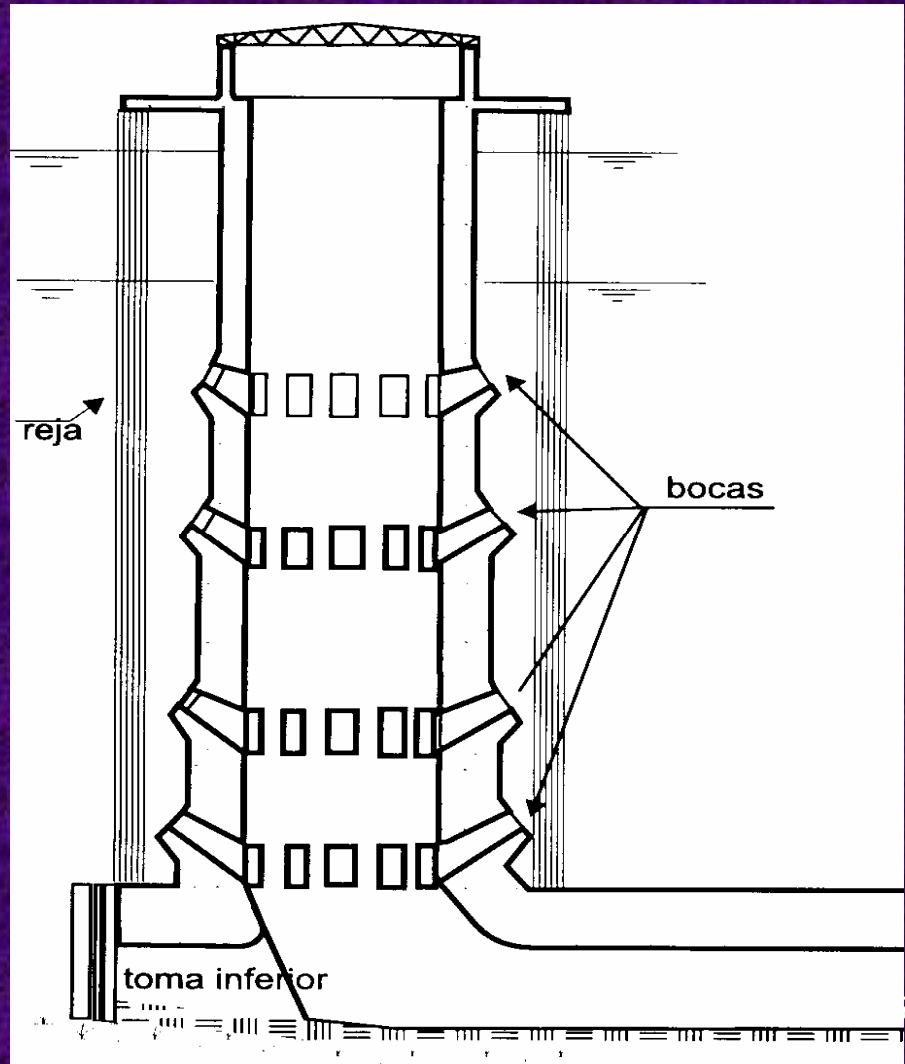
Capta el agua desviándola hacia la Central

Tipos

En Presas

Son estructuras sumergidas en el embalse con forma de torre que disponen de tomas a diferentes profundidades, y que desvían el agua hacia la tubería.

Tomas a distintas alturas



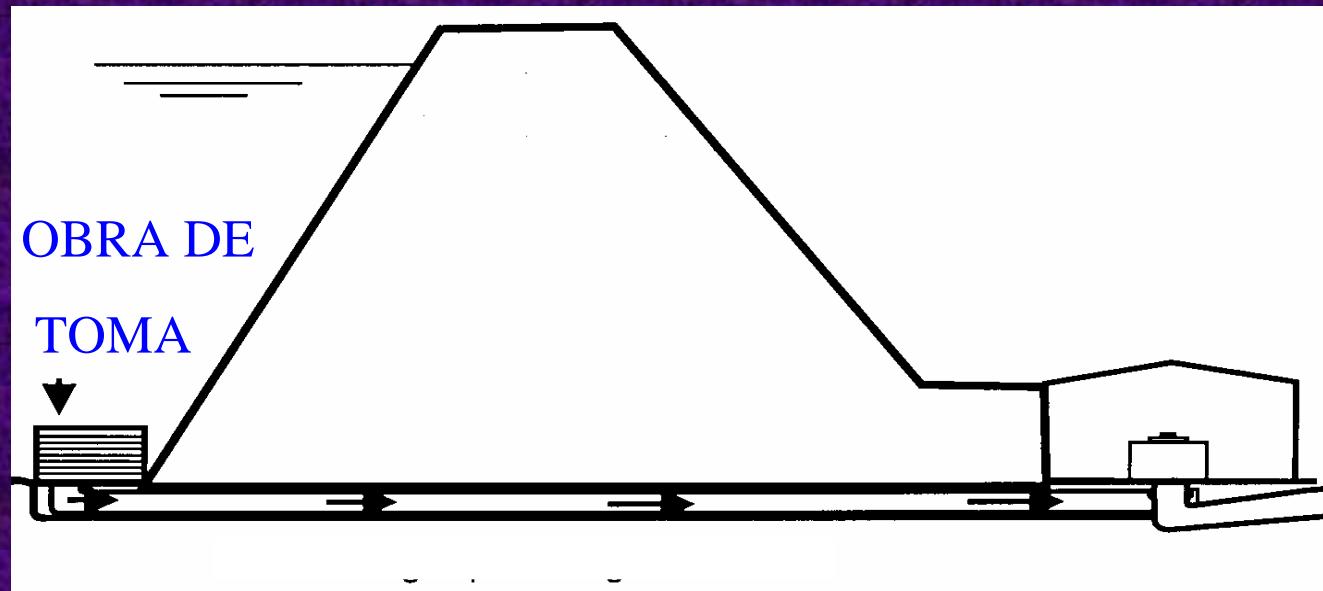
OBRA DE TOMA

Capta el agua desviándola hacia la Central

Tipos

En Presas (Usando el desagüe de fondo)

En ocasiones, se aprovechan los desagües de fondo. En todos los casos la entrada del agua está protegida por una rejilla



OBRA DE TOMA

Capta el agua desviándola hacia la Central

Tipos

En canales de riego: en estos casos, podemos encontrar distintas soluciones en función del espacio y de la obra ya existente.

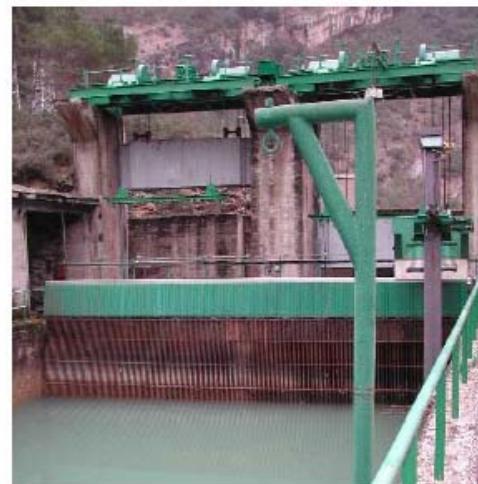


Foto 13.- Obra de toma en canal de riego

Por ejemplo en la imagen el mismo canal realiza la función de obra de toma y cámara de carga, haciendo el lateral del canal las veces de aliviadero, desviando el agua sobrante hacia una rápida

OBRA DE TOMA

Detalles de tomas



CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

En los ríos en los que el agua arrastra arenas, limos, pequeñas piedras u otros partículas sólidas de pequeño tamaño, aún cuando la disposición de la obra de toma sea óptima, la reja no es suficiente para impedir su entrada al canal, haciéndose necesario instalar un *desarenador o Cámara de sedimentación*. Este elemento consiste en un tramo de canal de gran sección en la que el agua circula a muy baja velocidad quedando depositadas las partículas. El desarenador debe disponer de un sistema que permita su limpieza.



Un método consiste en darle a la base la forma de doble pendiente acabando en un pequeño canal rectangular perpendicular a la sección del desarenador. De esta forma, los sedimentos caen en este pequeño canal que es de fácil limpieza.

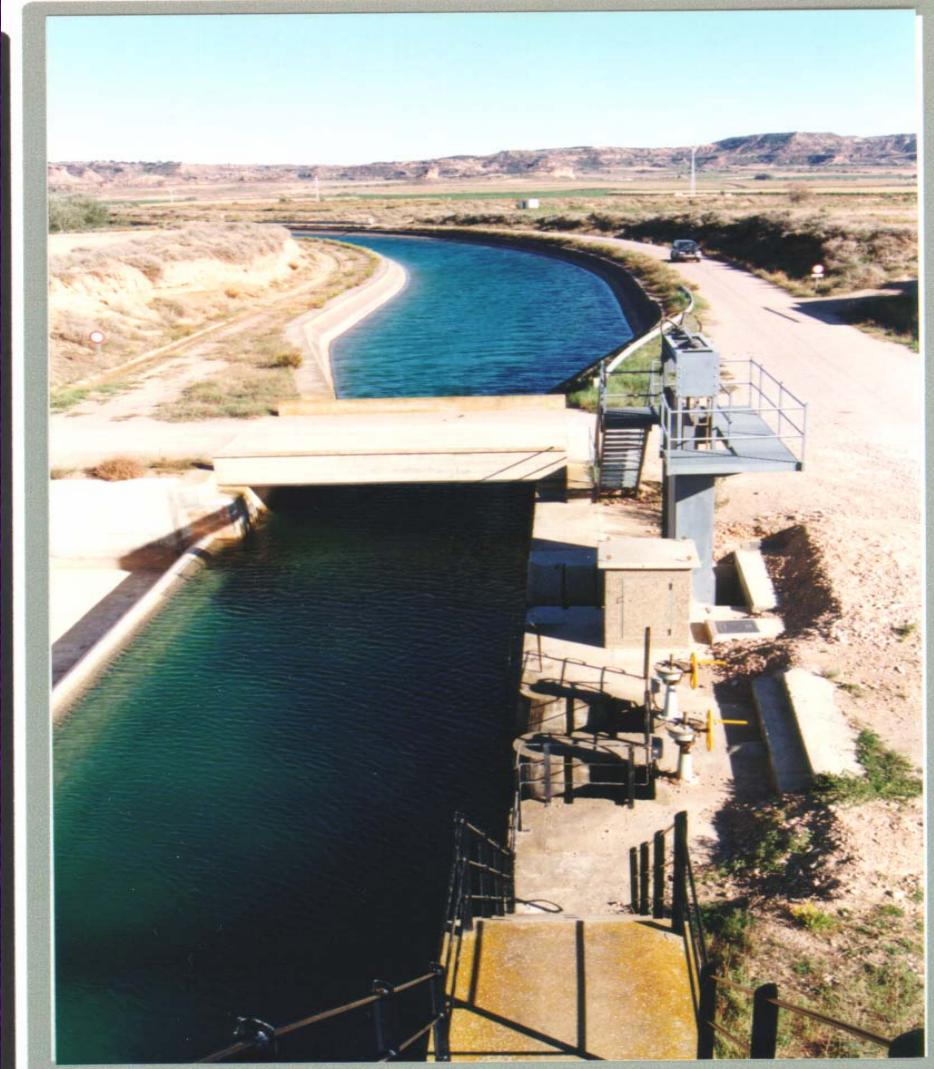
CANAL DE DERIVACIÓN

El canal de derivación es una estructura de conducción de agua que termina en la cámara de carga. El canal puede ser a cielo abierto o enterrado, siendo su característica esencial que el agua, en la parte superior, se encuentra en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica.



CANALES

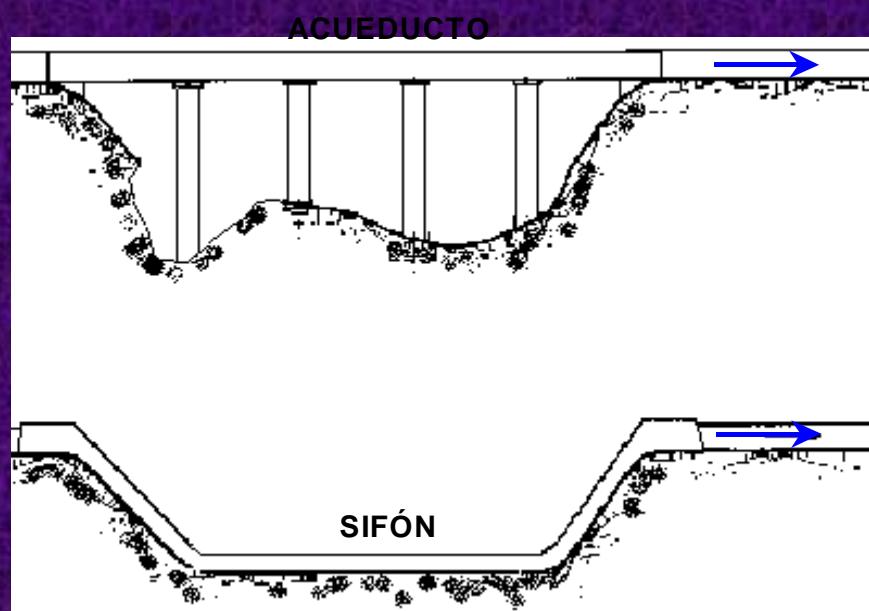
Conductos de agua abiertos
en los que la velocidad del
agua depende de la
pendiente



CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS: PENDIENTE

El trazado del canal se realiza siguiendo en lo posible las líneas de nivel del terreno, tratando de que la obra sea lo más sencilla posible, con una pendiente típica de entre el 1 al 0,5 por mil. En ocasiones es necesario superar pequeñas vaguadas, en estos casos existen dos opciones: realizar un acueducto o bien mediante un sifón



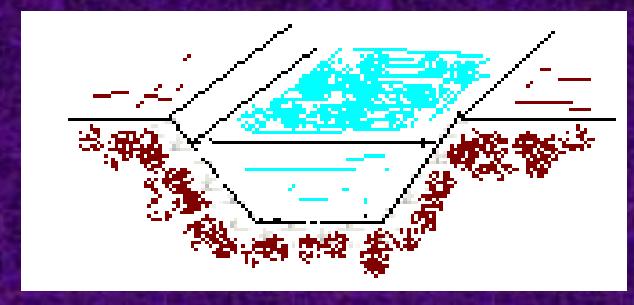
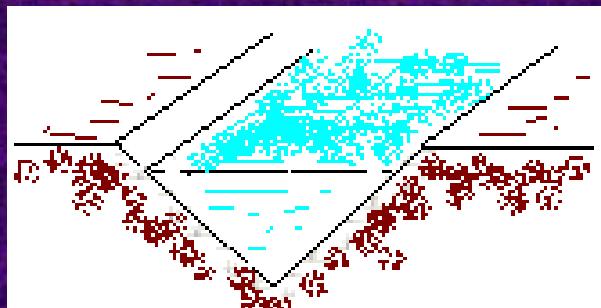
El acueducto requiere mayor obra civil, por lo que resulta más caro, pero a cambio presenta mejores características hidráulicas al tener menos pérdidas de conducción.

El sifón por el contrario, tiene características hidráulicas peores

CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS: SECCIÓN TRANSVERSAL

Existen diversas formas, las más habituales son trapezoidales, rectangulares y circulares. La sección afecta al perfil de velocidad transversal del agua en el canal.



CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Hacen referencia al material con el que se construyen y la terminación que se la a la pared en contacto con el agua. Esta característica es importante puesto que determina el coeficiente de rugosidad del canal, parámetro que interviene en el cálculo del caudal que éste puede transportar, ya que afecta al rozamiento que se produce entre el agua y las paredes del canal.

El material más utilizado en el caso de las centrales hidroeléctricas es el hormigón armado.

CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS

Ecuación de Manning: describe el movimiento del agua en los canales.

$$Q = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{A^{\frac{5}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n \cdot P^{\frac{2}{3}}}$$

donde :

Q: caudal (m^3/s)

A: sección de paso del agua (m^2)

S: pendiente (m/m)

R: Radio hidráulico (m) = A/P

P: perímetro mojado (m)

n: coeficiente de Manning (depende de la rugosidad del acabado del material)

CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS

La pendiente no puede ser muy alta para evitar velocidades excesivas que puedan erosionar el cauce, así como para evitar perder altura útil en el salto, sin embargo tampoco debe ser excesivamente pequeña puesto que en este caso crecerán algas en el cauce disminuyendo la velocidad y aumentando las pérdidas de carga. La velocidad máxima en los canales depende del material en el que se construyan:

- Canales de tierra fangosa $v=0,1$ m/s
- Canales de tierra arcillosa $v=0,25$ m/s
- Canales de arena gruesa $v= 0,6$ m/s
- Canales de lechos pedregosos $v= 1,25$ m/s
- Canales de hormigón, pueden soportar cualquier velocidad, pero para no perder salto se suele limitar a $v = 1,25$ m/s

CARACTERISTICAS DE LOS CANALES

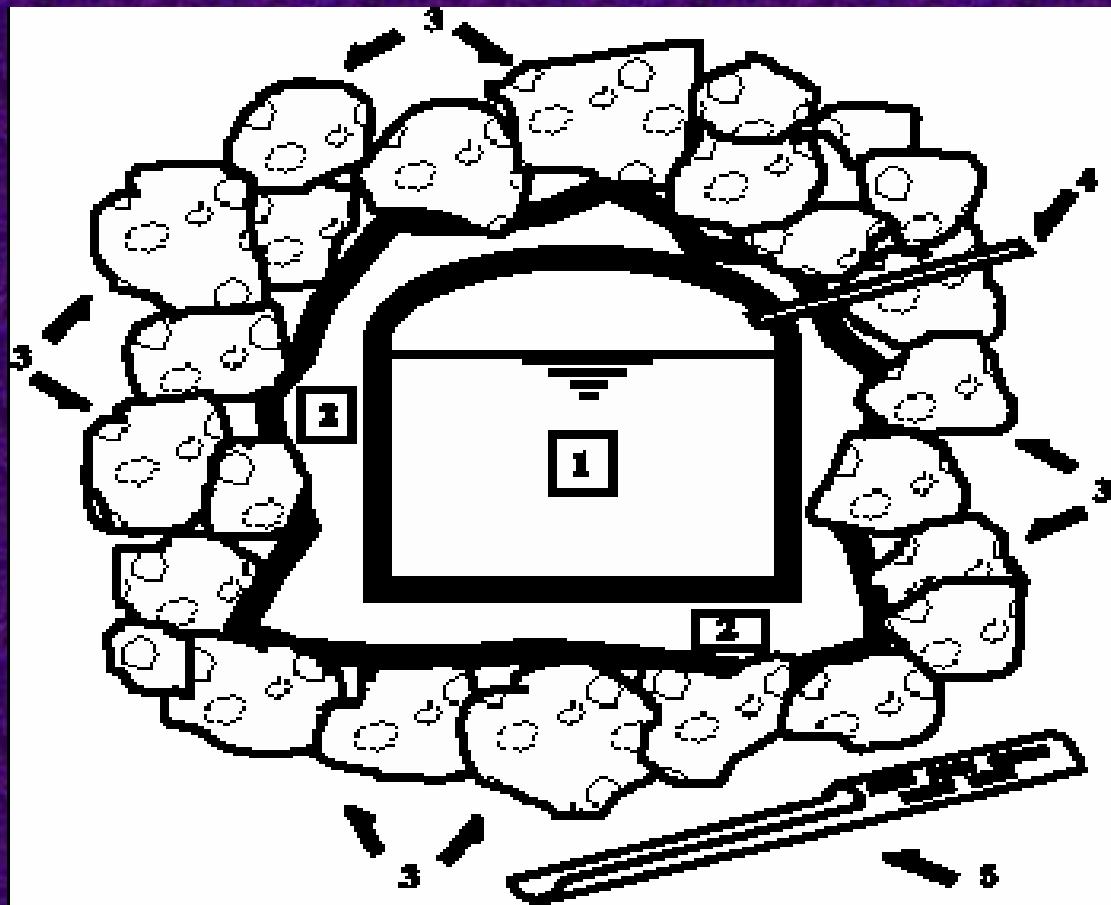
CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS

Canal de mejor rendimiento hidráulico o de forma hidráulicamente óptima: coincide con el que presenta el mayor radio hidráulico, puesto que significa que tiene la máxima sección de paso con el menor perímetro hidráulico posible, y por lo tanto con el menor rozamiento.

La sección que mejor cumple con estas condiciones es la sección circular, sin embargo es costoso de construir y difícil de limpiar. Por este motivo, se suelen realizar de forma trapezoidal (también denominados de medio hexágono), ya que al tener el fondo plano su mantenimiento es más sencillo.

Sin embargo los canales se proyectan atendiendo a criterios de tipo económico y constructivo, generalmente el canal hidráulicamente óptimo es excesivamente costoso ya que el área de excavación necesaria para obtener la sección requerida es demasiado grande, y si el canal es no revestido es probable que sea imposible de construir.

Túneles y galerías



1. Canal en túnel
2. Hormigonado por bloques
3. Formación rocosa
4. Dren
5. Detalle del tubo de drenaje

Figura 4.6.
Sección del túnel de derivación.



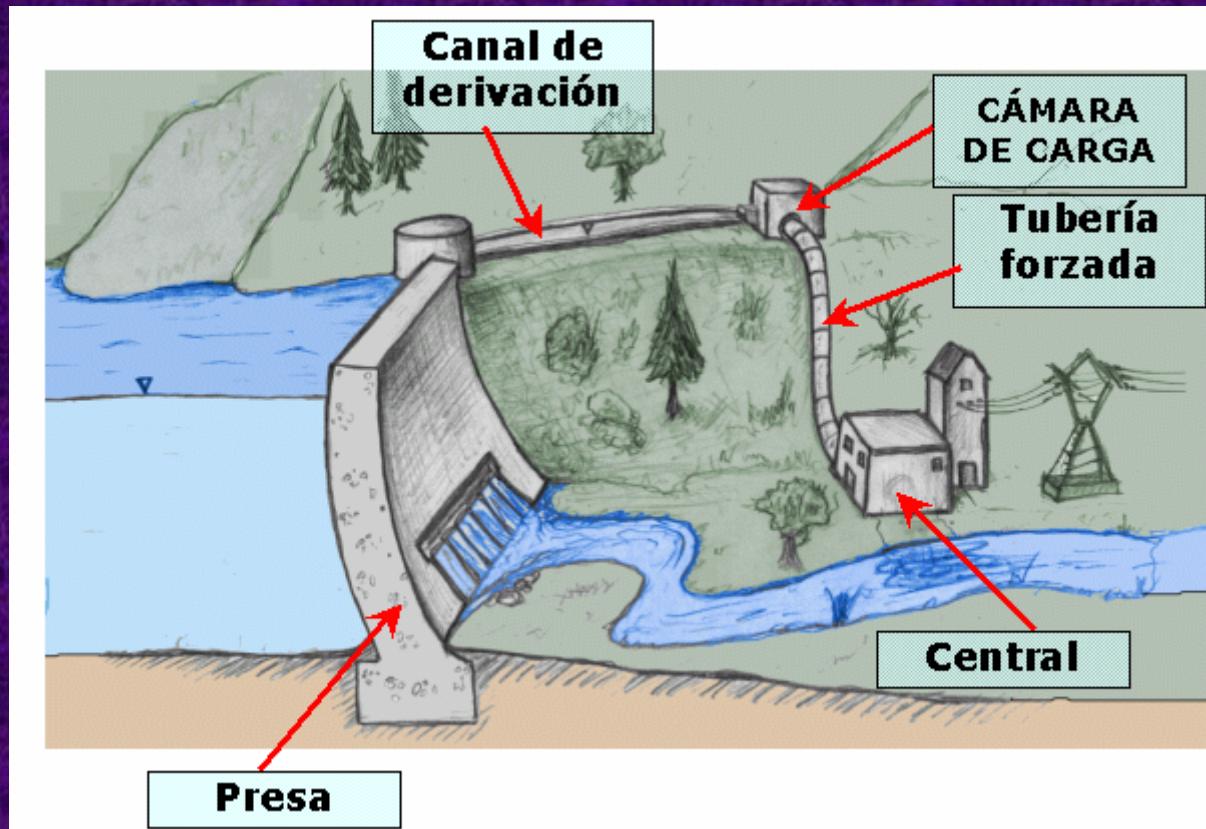
CÁMARA DE CARGA

La Cámara de Carga es un depósito en el que finaliza el canal y del que sale la tubería forzada hacia la turbina

Suministra el volumen de agua que necesita la central en el momento de la puesta en marcha +

Asegura el volumen de agua suficiente para evitar la entrada de aire a la tubería

CÁMARA DE CARGA



TUBERÍA FORZADA



Sección siempre circular que minimiza las pérdidas de carga.

- Conducción de caudal desde toma de carga hasta turbina.
- Capaz de soportar los diversos estados de presión interior.
- Mínima resistencia hidráulica.
- Resistencia estructural y durabilidad.

TUBERÍA FORZADA

Los materiales más empleados en la construcción de tuberías son:

Acero (problema de corrosión)

- Hormigón (para riego, pero no en hidroeléctrica)
- Polietileno (Diámetro<700mm; Salto<35m; enterrada)
- PVC (Diámetro<700mm; 30m<Salto<100m; enterrada pues se degrada con rayos ultravioletas)
- PVC con aleaciones de plástico (hasta 160 m de salto pues tienen menor coeficiente de dilatación)
- PVC con fibra de vidrio (Diámetro>600 mm)

Se considera aceptable una pérdida de carga inferior al 4% del salto bruto.

TUBERÍA FORZADA



*Juntas de dilatación y
entrada para
inspección*

*Desplazamiento del
apoyo debido a la
dilatación de la
tubería*



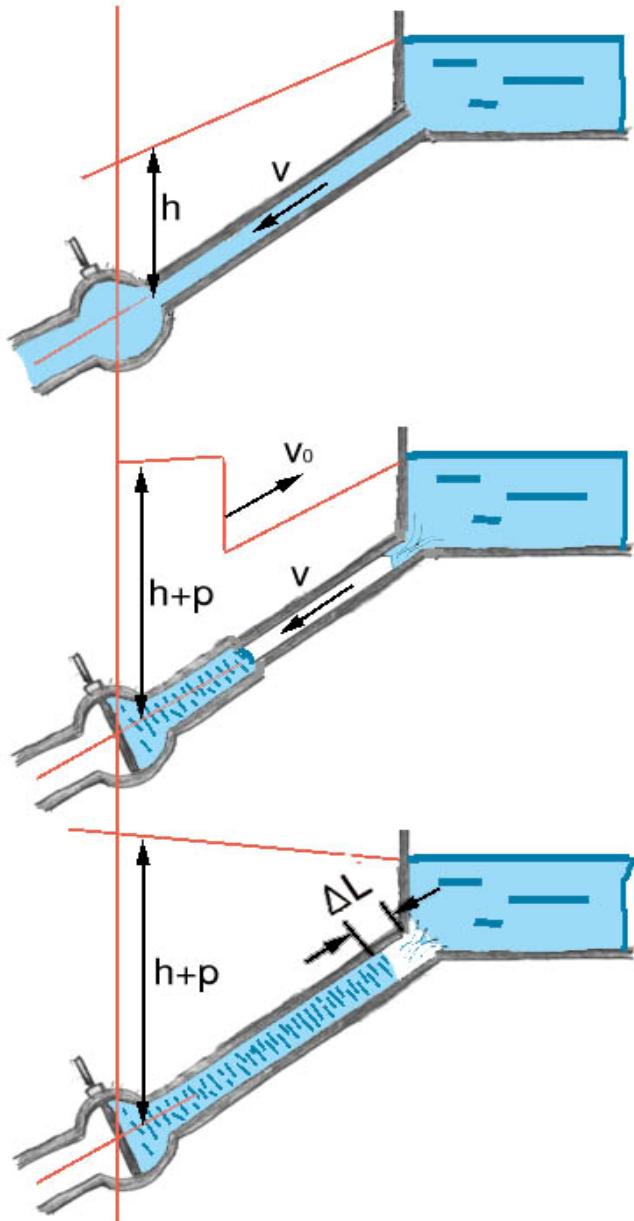
TUBERÍA FORZADA



Tuberías forzadas



GOLPE DE ARIETE



En la parte final de la tubería forzada, justo antes de la turbina, se coloca una válvula de cierre que hace las funciones de válvula de seguridad.

Si por necesidad de funcionamiento esta válvula se cierra de forma brusca, se producirán unas ondas de presión en la tubería, fenómeno denominado como golpe de ariete.

Al cerrarse bruscamente la válvula, todo el agua que hay en la tubería no se detiene de forma inmediata, sino que sigue fluyendo hacia su interior, produciéndose una compresión del agua y generando una sobrepresión en la tubería y en la válvula

GOLPE DE ARIETE

Para evitar el golpe de ariete, hay dos soluciones:

- Cerrar la válvula lentamente

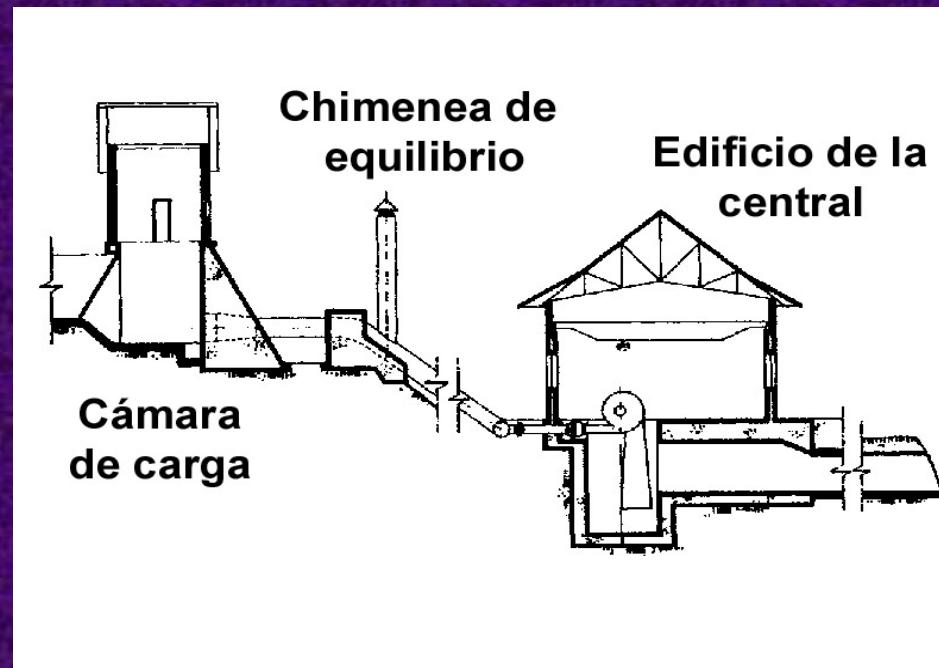
Desviar el agua



TUBERÍA FORZADA

Chimenea de equilibrio

En las instalaciones en las que la tubería es muy larga y tiene dos tramos diferenciados. Construir toda la tubería o el túnel para soportar el efecto del golpe de ariete es excesivamente caro.



TUBERÍA FORZADA

Chimenea de equilibrio



Para reducir el coste se introduce entre uno y otro tramo lo que se conoce como *chimenea de equilibrio*. Ésta no es más que un depósito cilíndrico vertical ubicado en la zona horizontal de la tubería, y conectado por un orificio de forma y dimensiones determinadas. Cuando se produce la onda de depresión, el agua escapa por la chimenea de equilibrio sin que la onda llegue a la toma

TUBERÍA FORZADA

Chimenea de equilibrio

Toma con chimeneas de equilibrio

