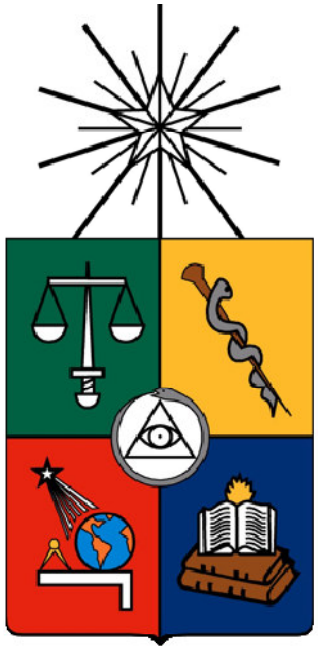


EL6000 CLASE 3

Emplazamiento, Derechos de agua y Tecnologías.

Estudio de Pre-factibilidad

AGENDA

- Emplazamiento
  - Principio de funcionamiento
  - Caudal
- Derechos de agua
- Tecnologías
  - Pelton
  - Francis
  - Kaplán
- Estudio de Prefactibilidad

EMPLAZAMIENTO

- Principio de funcionamiento

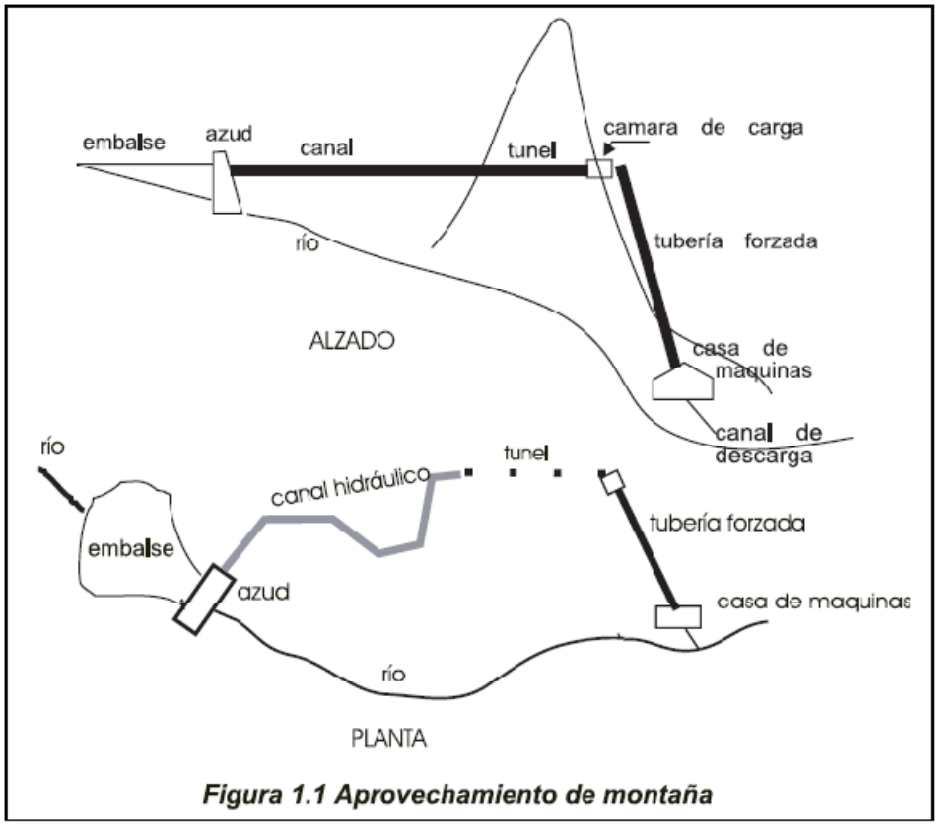
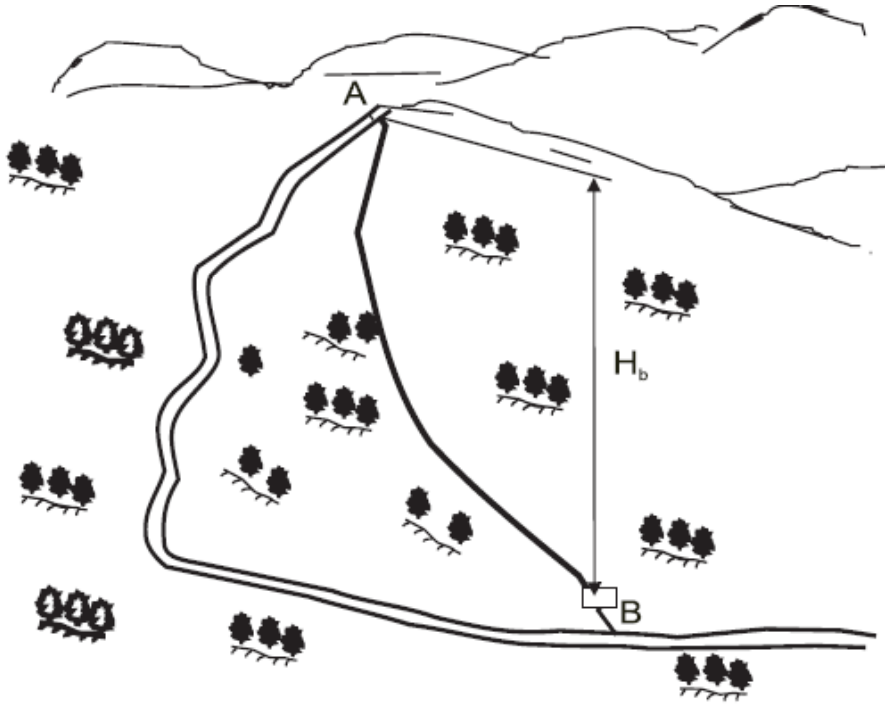


Figura 1.1 Aprovechamiento de montaña

Aprovechamiento de energía potencial

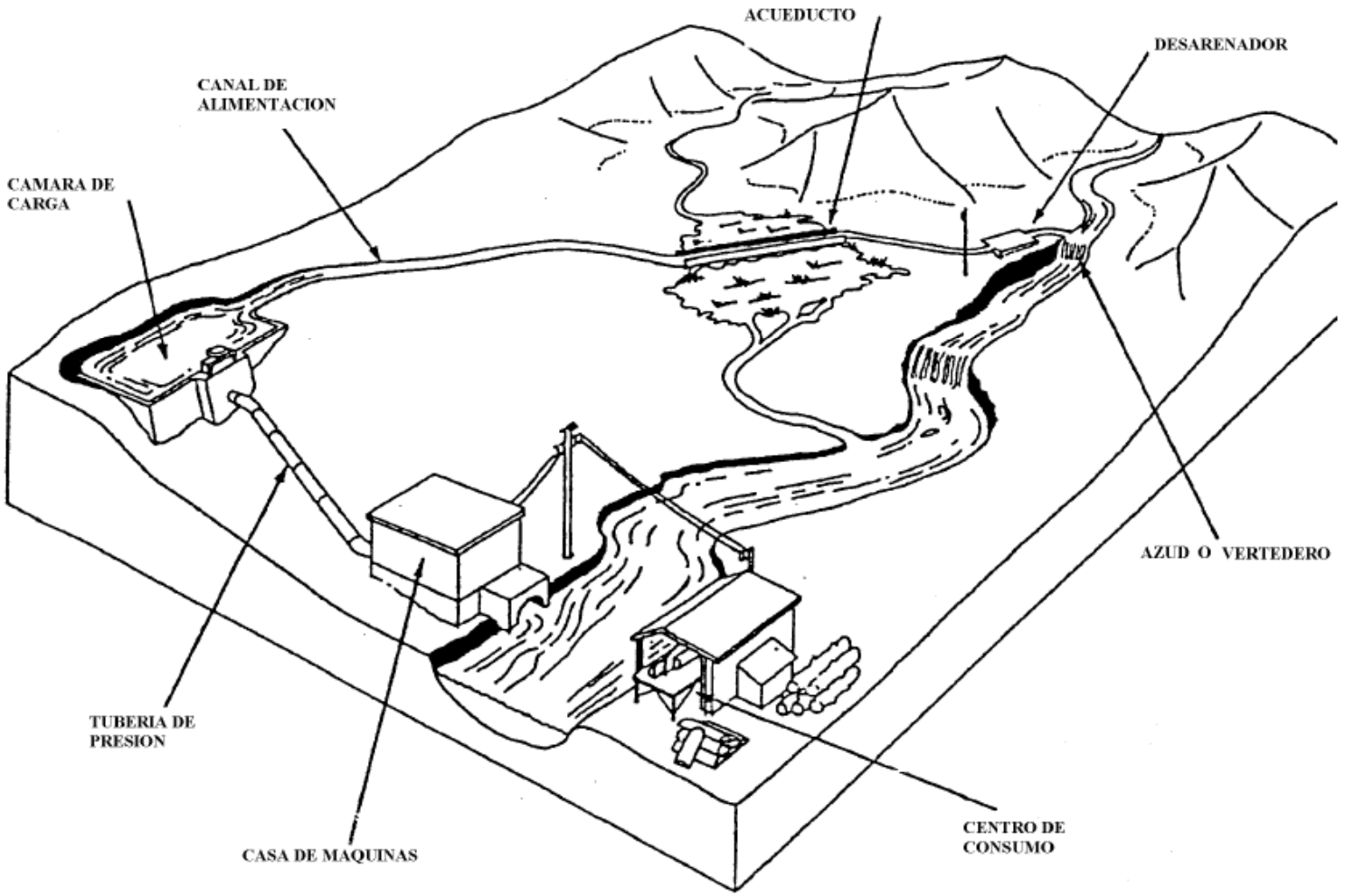
EMPLAZAMIENTO

- Principio de funcionamiento
  - Si agua sigue su cauce e. potencial se disipa en turbulencia y fricción
  - Si agua se traslada por una tubería hasta una turbina, e. potencial se disipa en la fricción al circular por esta y al atravesar los álaves de la turbina



El agua pierde la misma energía sea cual sea su recorrido entre A a B

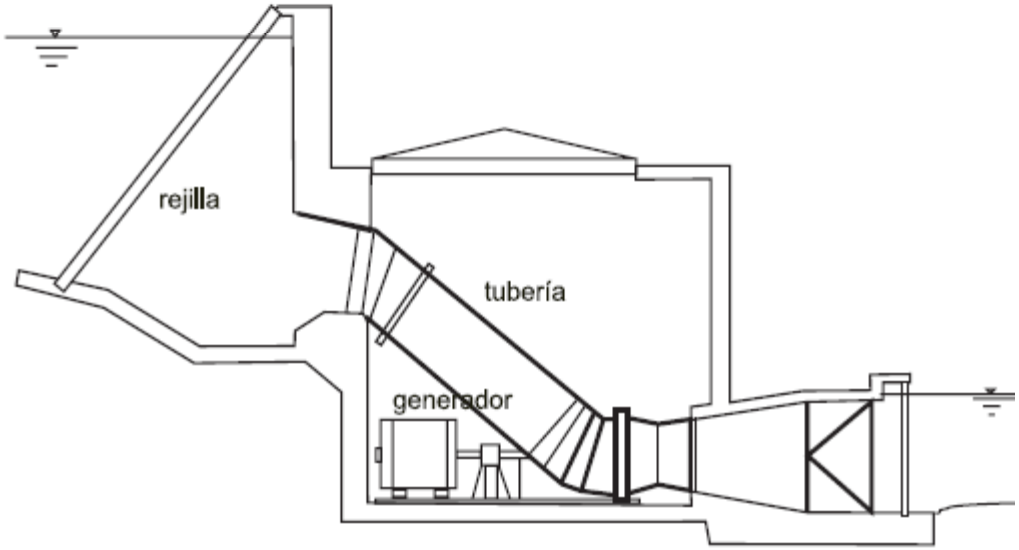
EMPLAZAMIENTO



Ingeniero Daniel Garrido

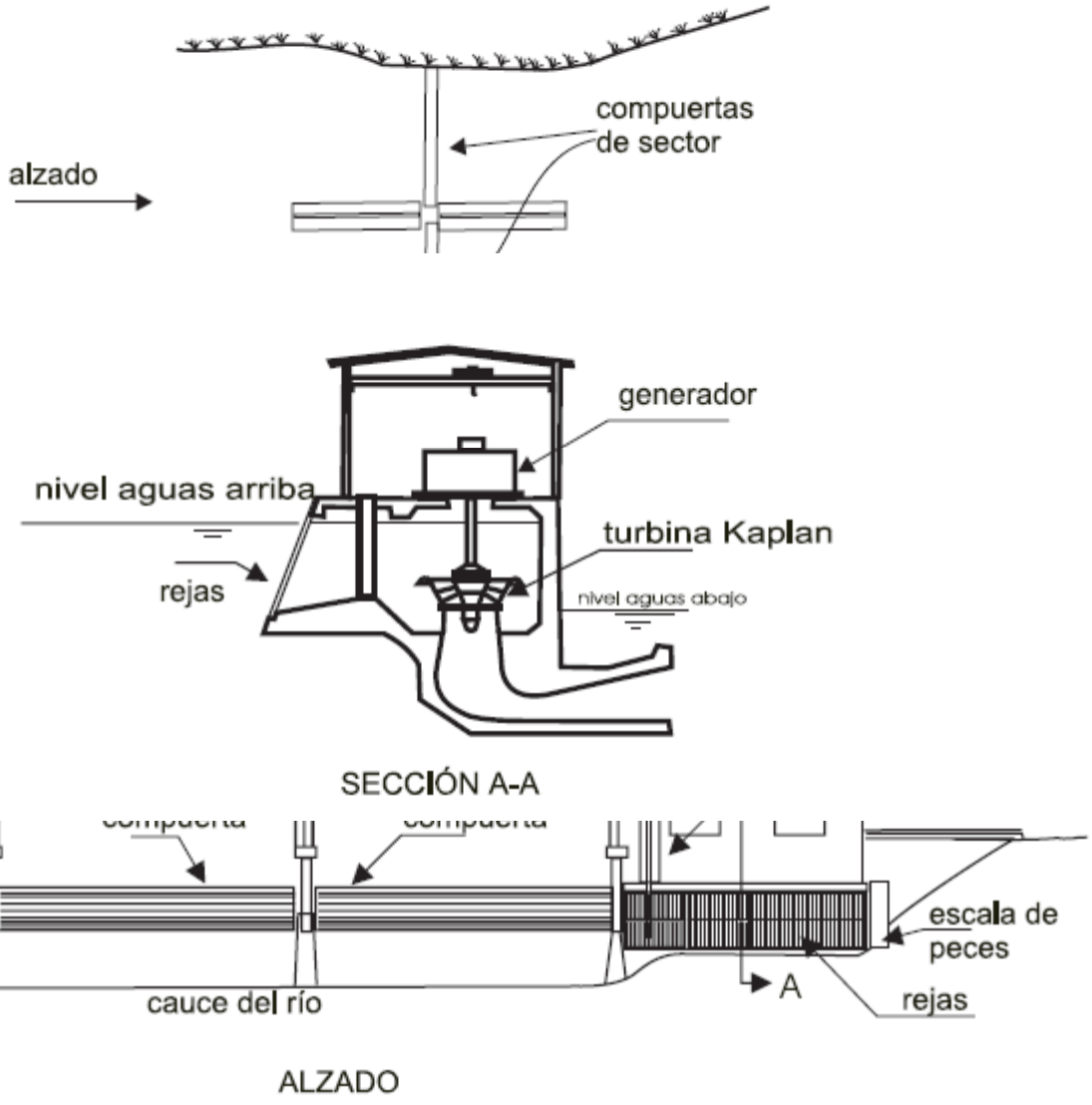
EMPLAZAMIENTO

- Aprovechamiento de baja altura
  - Típico en valles, ríos de gran caudal con una baja altura de caída
  - Tubería de presión corta



EMPLA

- Aprove
  - Si no
    fuer
    inte



EMPLAZAMIENTO

- Componentes minihidro:
- Barrera y bocatoma
- Desarenador
- Conducto (canal, túnel o tubería de baja presión)
- Cámara de carga
- Rejillas
- Compuertas
- Tubería de presión
- Sistemas de protección
- Válvula principal
- Turbina
- Generador
- Transformador de poder
- Equipos de protección
- Regulador de velocidad

EMPLAZAMIENTO

- El dimensionamiento de las componentes de la minihidro está en directa relación con el caudal que se turbinará, o caudal de diseño.

$$P = \eta \cdot Q = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \quad [\text{kW}]$$

→ Imprescindible una medida precisa de Q

Ingeniero Daniel Garrido

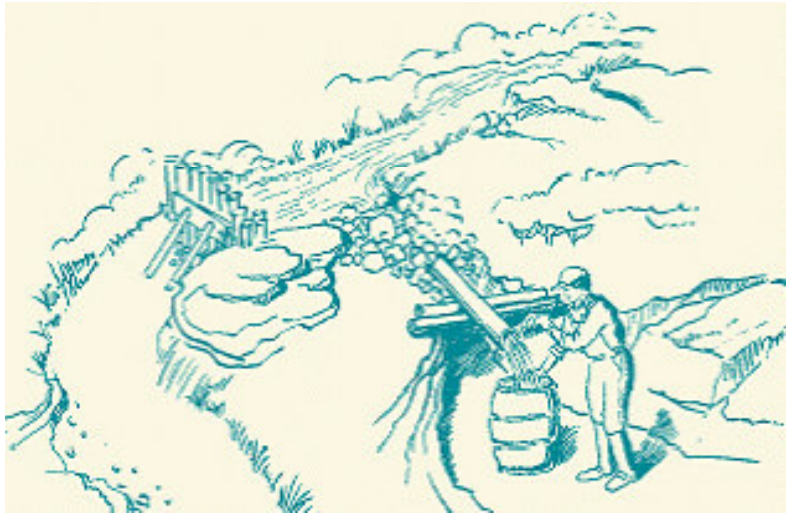
EMPLAZAMIENTO

- Q: Caudal es el volumen de agua que atraviesa por una sección por unidad de tiempo
  - Volumen/tiempo:
    - Medidas típicas: m3/s lt/h

- Existen varios métodos para medir el caudal de un cauce

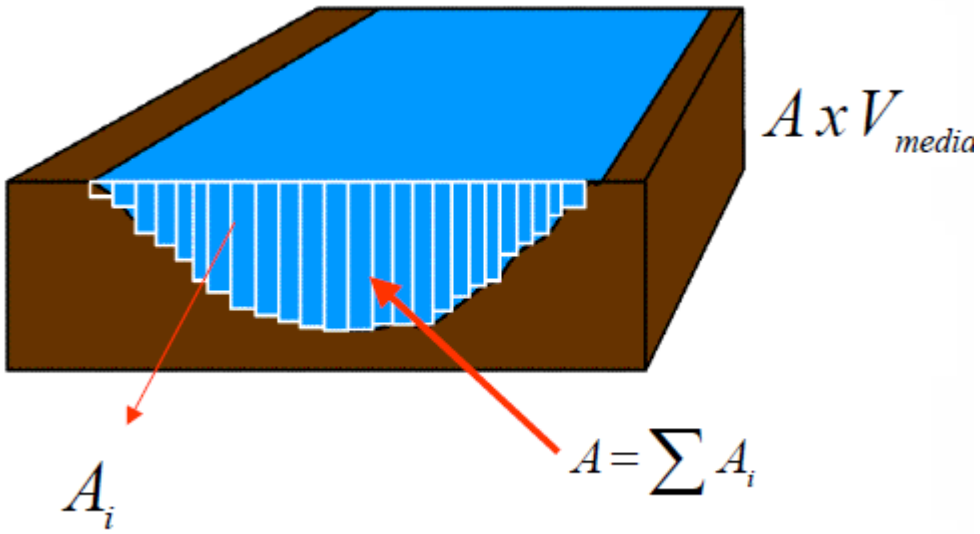
EMPLAZAMIENTO

- Método del Recipiente
  - Método manual
  - Para caudales pequeños
  - Recipinte de volumen conocido
  - Medición de tiempos



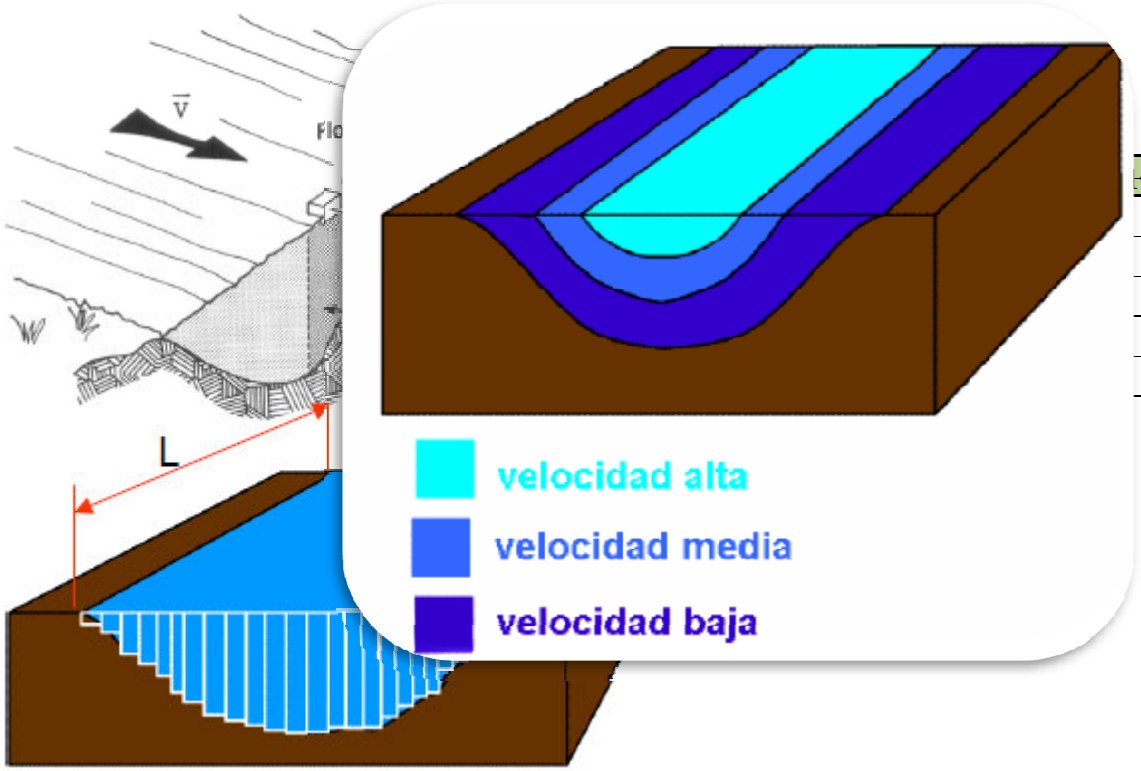
EMPLAZAMIENTO

- Método del área y velocidad
  - Basado en el principio de continuidad: Área de la sección por donde atraviesa un fluido de densidad constante, por su velocidad media, es constante.
  - A x Vmedia = Q



EMPLAZAMIENTO

- Velocidad media es una medida de velocidad superficial.



Factor de corrección	Precisión
0,85	Buena
0,75	Razonable
0,65	Mala
0,45	Muy mala
0,25	Muy mala

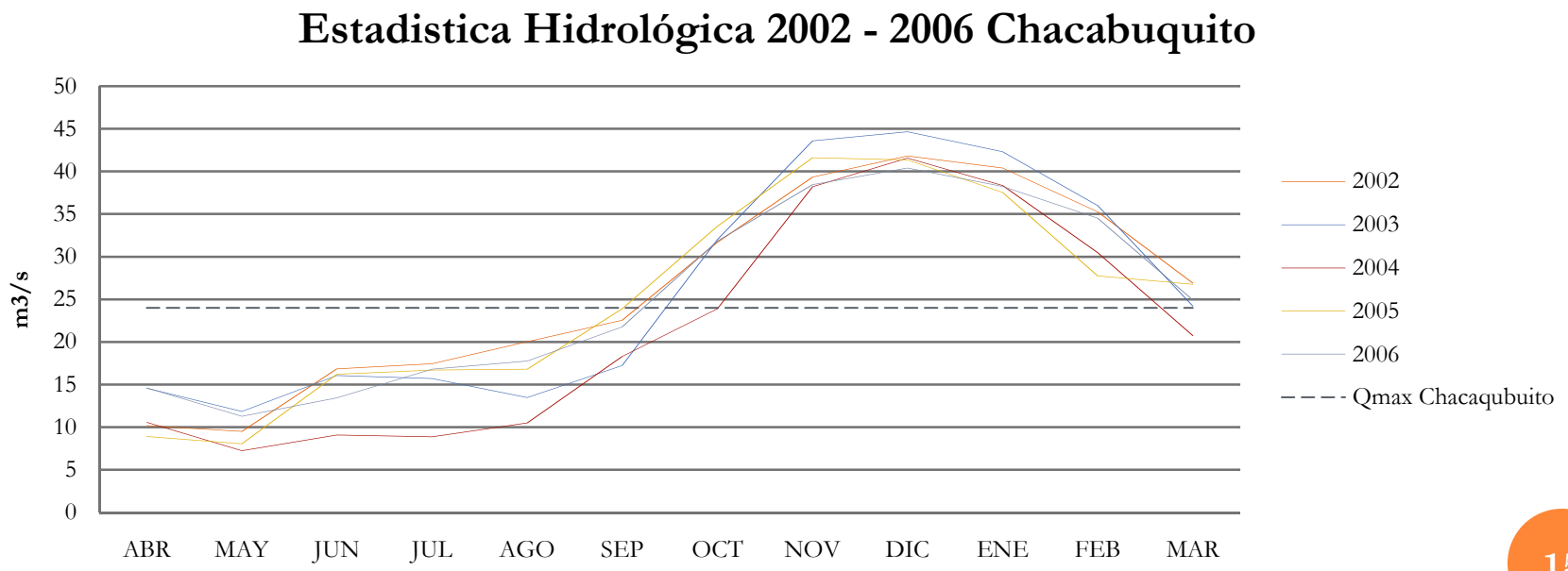
Ingeniero Daniel Garrido

EMPLAZAMIENTO

- Una vez que Q es medido, para efectos de la evaluación de nuestro proyecto minihidro es necesaria una estadística hidrológica.

EMPLAZAMIENTO

- Q varía significativamente a lo largo del año, posee estacionalidad



Agenda

- Emplazamiento
  - Principio de funcionamiento
  - Caudal
- Derechos de agua
- Tecnologías
  - Pelton
  - Francis
  - Kaplán
- Estudio de Prefactibilidad

DERECHOS DE AGUA

- Existen estadísticas de caudales en las cuencas chilenas. (DGA)
- Para ocupar una porción del caudal de un río es necesario poseer sus derechos de agua
- El agua es un recurso natural escaso que para distintos efectos se vuelve cada vez más valioso.
- En las últimas décadas muchos países en desarrollo implementaron reformas políticas para liberalizar el comercio del agua para permitir que el precio de los insumos y sus productos de fijaran en función de los costos de oportunidad
- En Chile existe el Código de Aguas (1981) que regula la asignación se este recurso.

DERECHOS DE AGUA

- La ley define derechos constitutivos y no constitutivos así como derechos permanentes y contingentes.
- Constitutivos: Agua que “desaparece” de los canales
- No constitutivos: Agua con sujeción a reposición
- Permanentes: Permiten el uso de un volumen de agua por unidad de tiempo sin restricciones, a menos que no haya agua suficiente para todos los derechohabitentes (alícuotas)
- Contingentes: Permiten el uso de los excedentes de los beneficiarios de los derechos permantentes.
- Además existen derechos continuos, discontinuos y alternativos (dos o mas personas se alternan el uso del agua).

DERECHOS DE AGUA

- Principales características código de aguas.
  - Derechos de agua independientes de los derechos de tierra, pueden venderse y transferirse libremente (son propiedad privada)
  - Su solicitud no está sujeta el tipo de uso y no hay orden de prioridad por uso. No impone como condición al acceso el uso efectivo del agua.
  - Se designan **gratuitamente,** si hay solicitudes simultáneas se otorgan al mejor postor.
  - Controversias se resuelven entre privados.
  - Define usos no constitutivos para promover la hidroelectricidad,

MODIFICACION AL CODIGO DE AGUAS: PATENTE POR NO USO DEL AGUA

Su finalidad es fomentar el uso efectivo del agua.Consiste en un cobro anual a los titulares de derechos que no cuenten con obras de captación y conducción, cuando se trate de aguas superficiales; obras de captación que permitan el alumbramiento para aguas subterráneas y en el caso de derechos no consuntivos deben existir, además, las obras de restitución respectivas.

- Su solicitud no está sujeta el tipo de uso y no hay orden de prioridad → No impone como condición al acceso el uso efectivo del agua.
- Se designan **gratuitamente,** si hay solicitudes simultáneas se otorgan al mejor postor.
- Controversias se resuelven entre privados.
- Define usos no constitutivos para promover la hidroelectricidad,

DERECHOS DE AGUA

- Caso emblemático:
  - Endesa era un monopolio de propiedad del estado que gozaba de derechos exclusivos.
  - Al privatizarse, luego de la liberalización del sector eléctrico, se incluyeron estos derechos en la transacción, generando fuertes barreras de entrada a nuevos actores.
  - Con estos derechos la empresa controladora puede evaluar sus proyectos sobre la rentabilidad de su capacidad intramarginal, retrasando el ingreso de nuevos proyectos (en un largo plazo y sin regulación puede alcanzar un equilibrio monopólico)

AGENDA

- Emplazamiento
  - Principio de funcionamiento
  - Caudal
- Derechos de agua
- Tecnologías
  - Pelton
  - Francis
  - Kaplán
- Estudio de Prefactibilidad

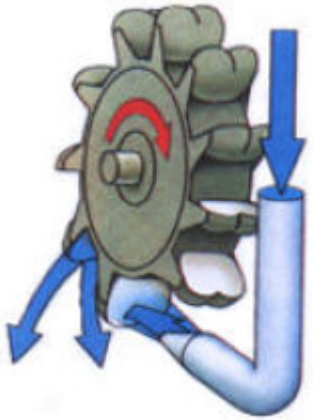
TECNOLOGÍAS

- Existen distintas tecnologías de acuerdo a las características de caudal y altura de caída de la hidroeléctrica.

Propietario	Nombre Central	Tipo de Unidades	Tipo de Turbina	Potencia Bruta
ENDESA	Abanico	Hidráulica Pasada	Francis	21,50
ENDESA	Isla	Hidráulica Pasada	Francis	33,30
ENDESA	Isla	Hidráulica Pasada	Francis	33,30
ENDESA	Los Molles	Hidráulica Pasada	Pelton	10,00
ENDESA	Los Molles	Hidráulica Pasada	Pelton	10,00
ENDESA	Sauzal	Hidráulica Pasada	Francis	25,60
ENDESA	Sauzal	Hidráulica Pasada	Francis	25,60
ENDESA	Sauzal	Hidráulica Pasada	Francis	25,60
ENDESA	Sauzalito	Hidráulica Pasada	Kaplán	12,00
PACIFIC HYDRO CHILE	Pangal	Hidráulica Pasada	Pelton	8,00
PACIFIC HYDRO CHILE	Pangal	Hidráulica Pasada	Pelton	8,00
PACIFIC HYDRO CHILE	Pangal	Hidráulica Pasada	Pelton	8,00
PACIFIC HYDRO CHILE	Pangal	Hidráulica Pasada	Pelton	8,00
PACIFIC HYDRO CHILE	Pangal	Hidráulica Pasada	Pelton	5,00
PEHUENCHE	Curillinque	Hidráulica Pasada	Francis	85,50
PEHUENCHE	Loma Alta	Hidráulica Pasada	Francis	38,00
RIO TRANQUILO	Hornitos	Pasada	Pelton	55,00
SOCIEDAD CANALISTAS DEL MAIPO	Florida - Kvaerner	Hidráulica Pasada	Francis	9,80
SOCIEDAD CANALISTAS DEL MAIPO	Florida - Kvaerner	Hidráulica Pasada	Francis	9,80
SOCIEDAD CANALISTAS DEL MAIPO	Florida - Ossberger	Hidráulica Pasada	Banki	1,80

TECNOLOGÍAS

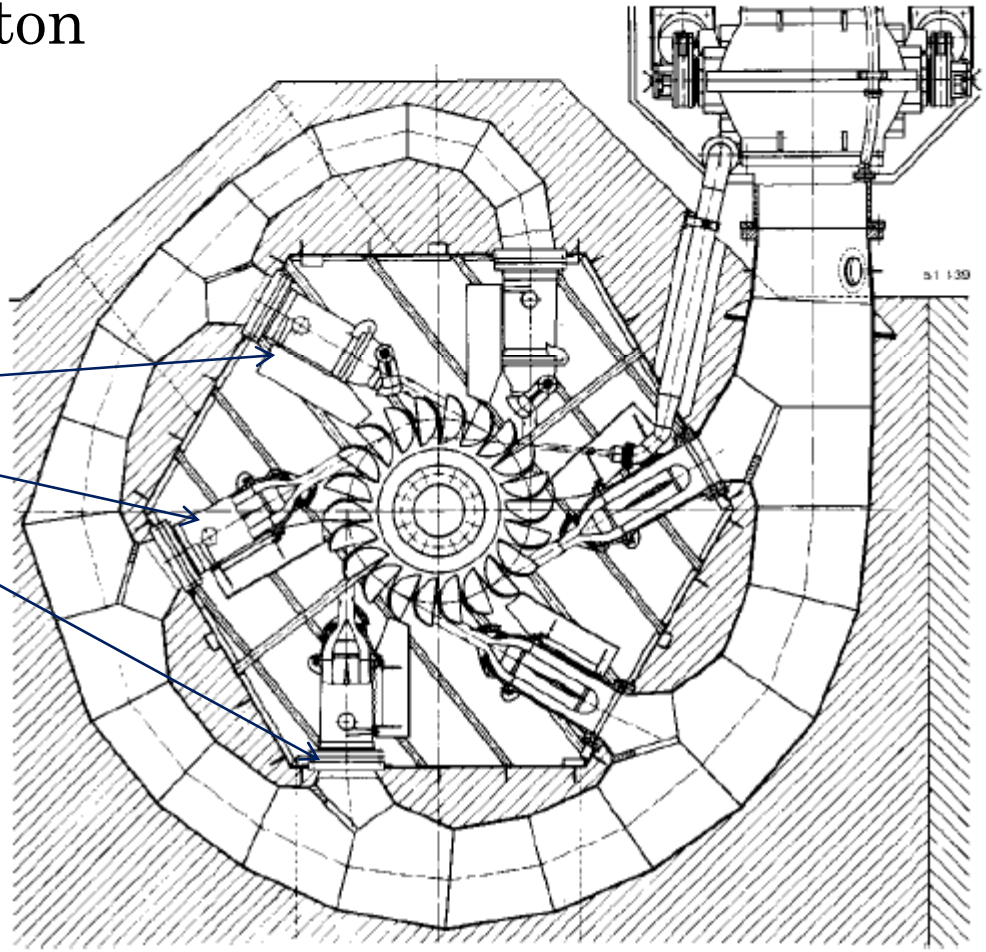
- Turbina Pelton



Grandes saltos de agua
(40 a 1200 m)
Bajo caudal
Robustas y simples
Alto rendimiento

TECNOLOGÍAS

- Turbina Pelton



Inyectores

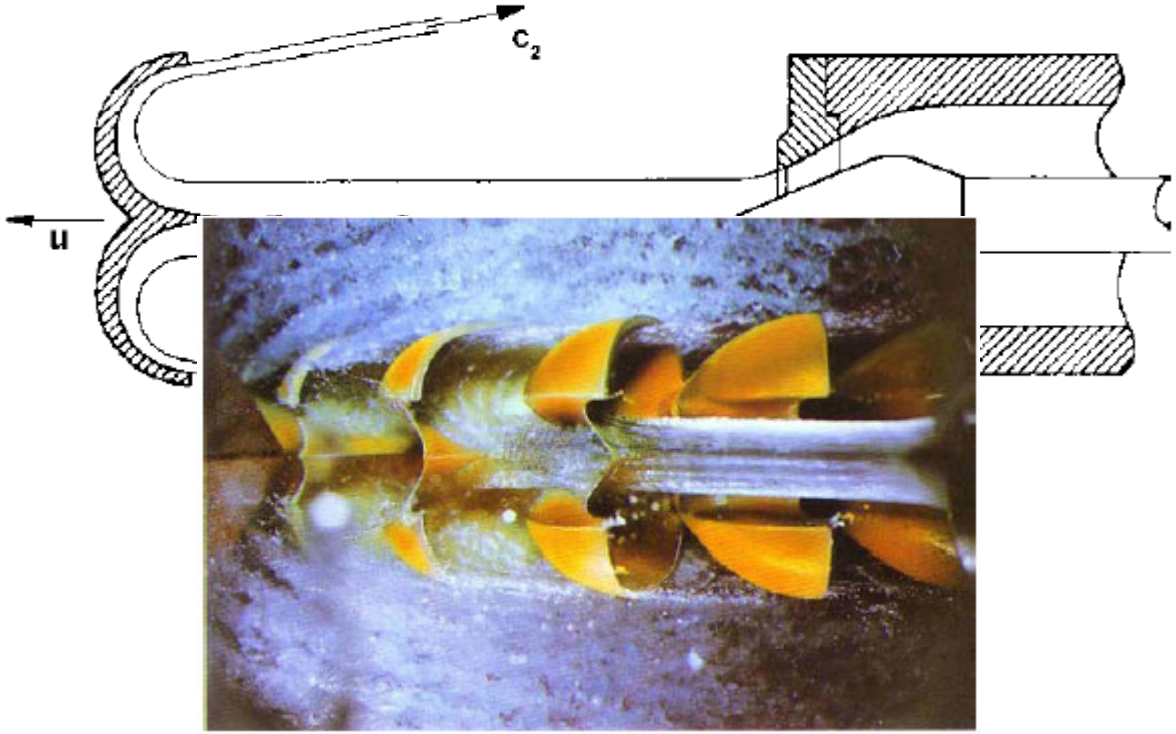
•Flujo incide tangencialmente al rotor
•Potencia aumenta en la medida que aumentan los inyectores

TECNOLOGÍAS

- Turbina Pelton
  - Rotor constituido por disco que soporta cucharas con doble cavidad, periódicamente dispuestas en su periferia.

TECNOLOGÍAS

- Turbina Pelton
  - Pelton introdujo en el diseño de la turbina cucharas dobles simétricas, diseñadas para deflectar hacia ar
    pé



TECNOLOGÍAS

- Turbina Pelton
  - Principio es convertir energía cinética del fluido en velocidad de rotación de la turbina.
  - Ya que el flujo es laminar y el fluido es aproximadamente incompresible, aplica Bernulli para encontrar la velocidad a la salida (c_0)

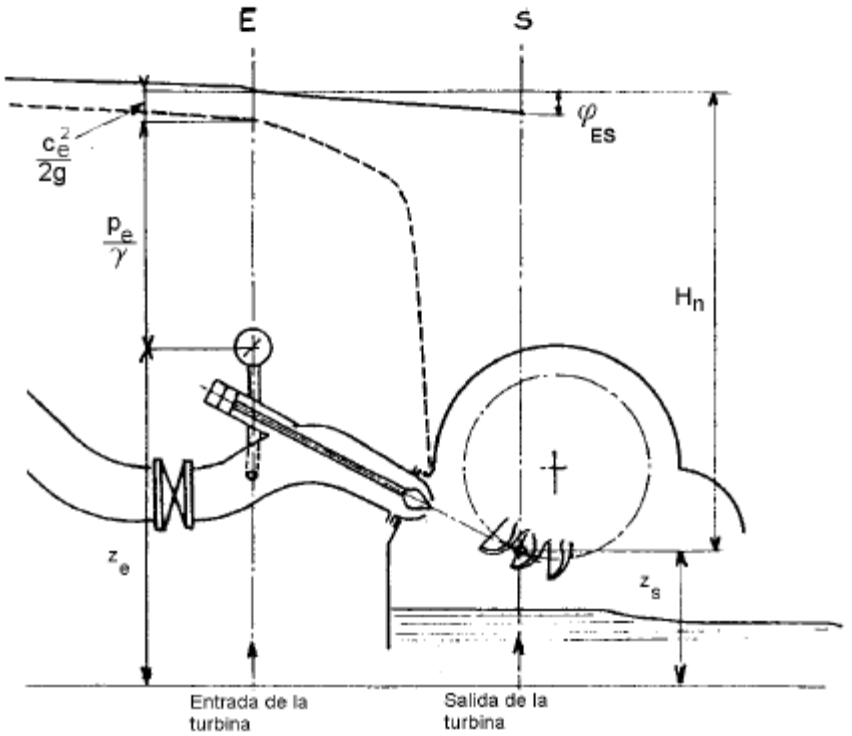
A la salida del inyector

$$H_n = \frac{c_0^2}{2g} + 0$$

$$\Rightarrow c_0 = \sqrt{2gH_n}$$

Tubería antes del inyector

$$H_n = \frac{c_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\gamma}$$



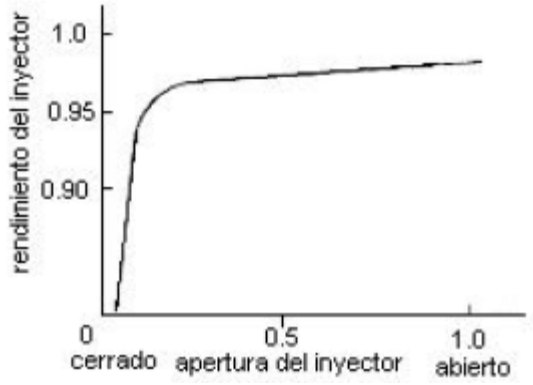
Ingeniero Daniel Garrido

TECNOLOGÍAS

- Turbina Pelton
  - Existen pérdidas en el inyector, por lo que la velocidad final a su salida se amplifica por un factor de rendimiento kc.

$$\Rightarrow c_0 = k_c \sqrt{2gH_n}$$

  - Rendimiento cercano a la unidad, excepto cuando el chorro inyectado es pequeño.



TECNOLOGÍAS

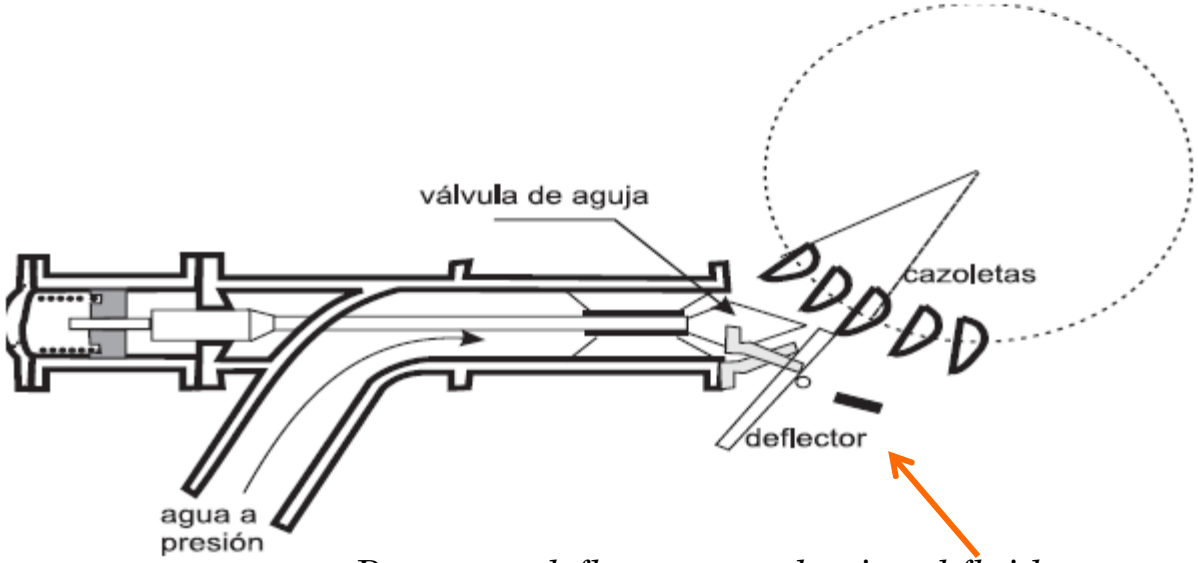
- Turbina Pelton
  - Luego de un desarrollo matemático se demuestra que la fuerza ejercida en una cuchara es:

$$F = 2\gamma \frac{Q}{g}(c_0 - u)$$

$$\Rightarrow P = F \cdot u = 2\gamma \frac{Q}{g}(c_0 - u)u$$

TECNOLOGÍAS

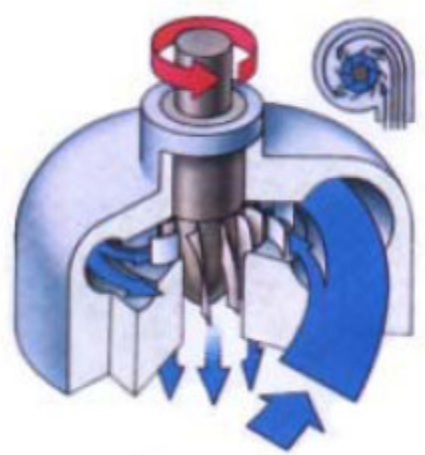
- Turbina Pelton
  - Potencia depende directamente del caudal inyectado a la turbina.
    - ➡ Regulación con válvulas de aguja en los inyectores



Poseen un deflector para desviar el fluido en caso de falla, evitando cerrar bruscamente las válvulas de aguja (podría producir golpe de ariete)

TECNOLOGÍAS

- Turbina Francis
  - Turbina de reacción (fluido cambia de presión en la medida que se desplaza por una tubería, perdiendo su energía)
  - Saltos de altura media
  - Se necesita carcasa para contener caudal del agua
  - Admisión en forma de espiral
  - Posee álabes directores que dirigen el agua tangencialmente al rodete, ajustables para permitir un funcionamiento eficiente en un amplio rango de caudales.

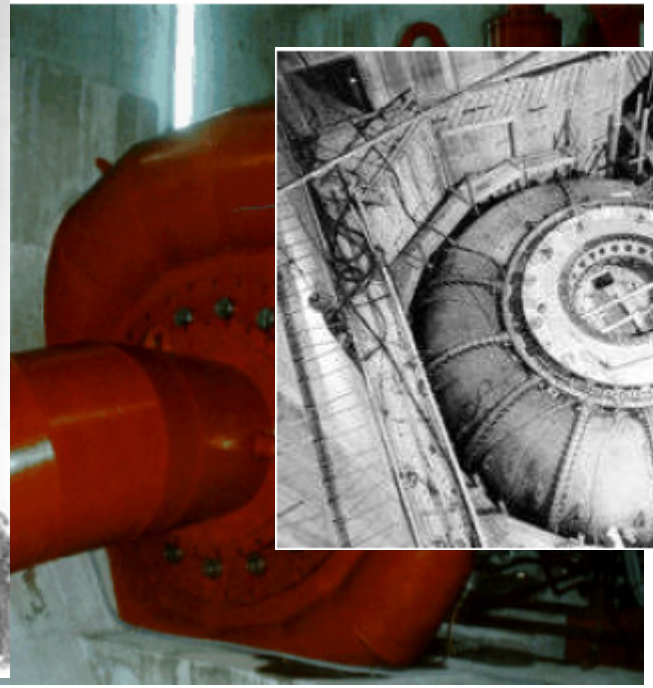


TECNOLOGÍAS

- Turbina Francis
  - Se diseñan para cada emplazamiento (así habitualmente logran eficiencias del orden del 90%).

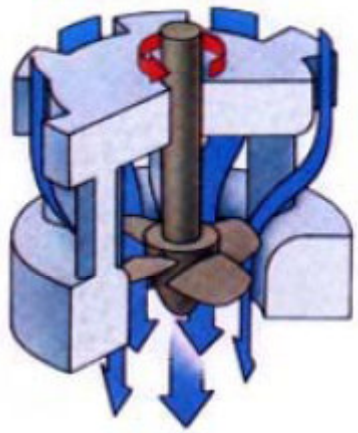
TECNOLOGÍAS

- Turbina Francis
  - [illegible]zamiento (así habitualmente logran [illegible]%).



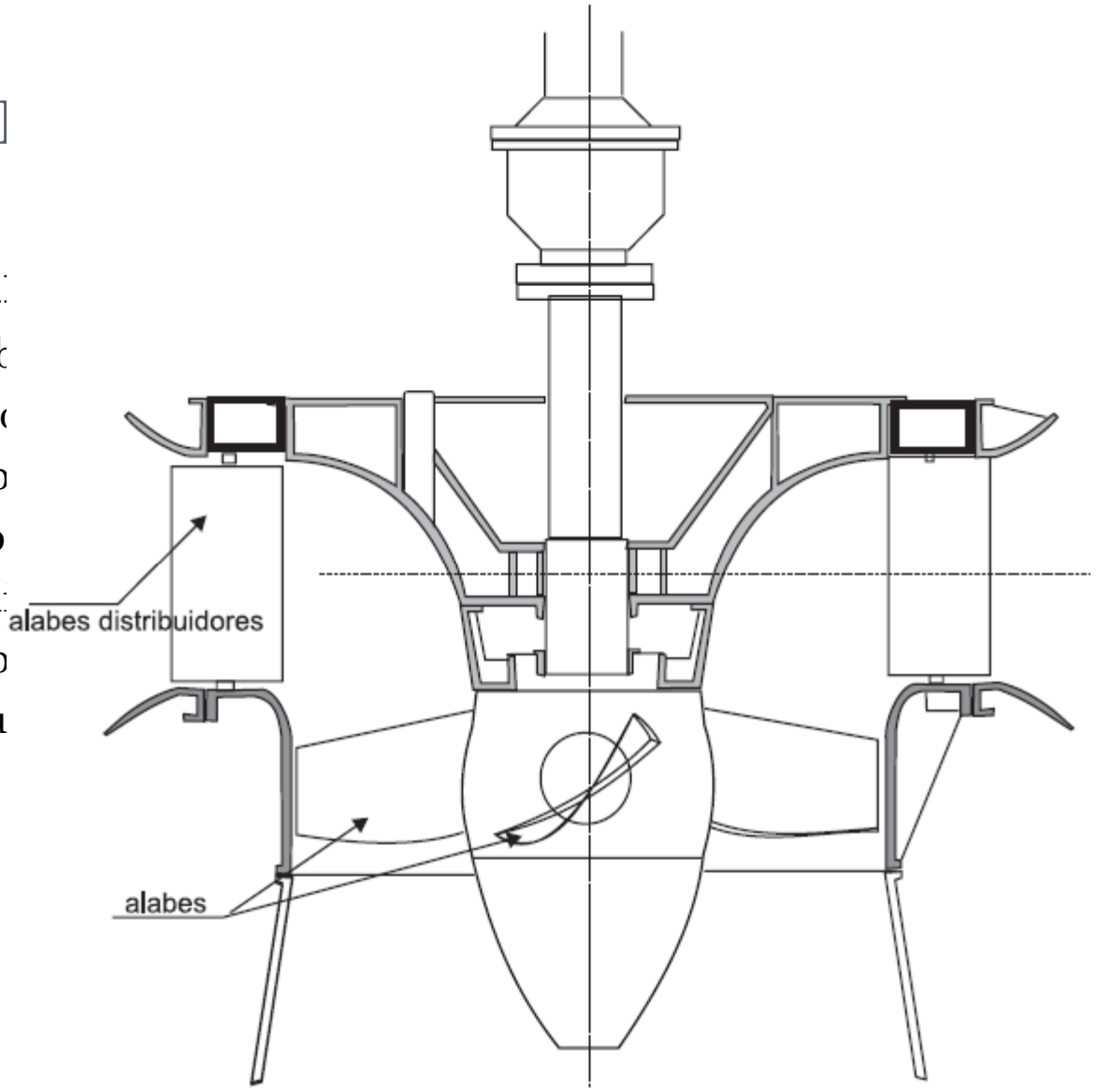
TECNOLOGÍAS

- Turbina Kaplán
  - Turbina de flujo axial
  - Saltos de baja altura
  - Álabes del rodete similares a la hélice un barco, siempre regulables mediante servomotor
  - Álabes del distribuidor pueden ser regulables también.

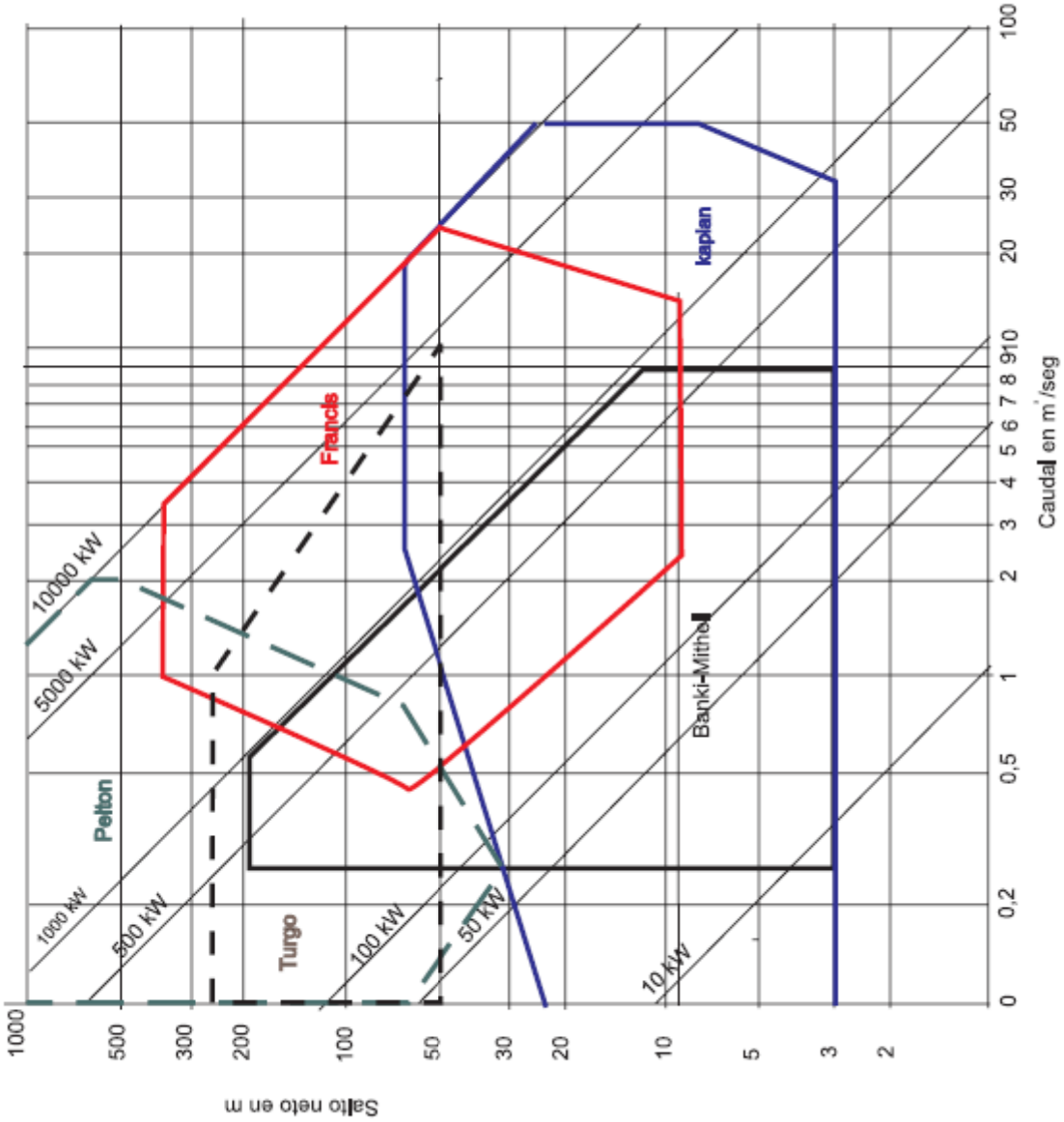


TECNOL

- Turbi
  - Turb
  - Salto
  - Álab
    un b
    medi
  - Álab
    regu

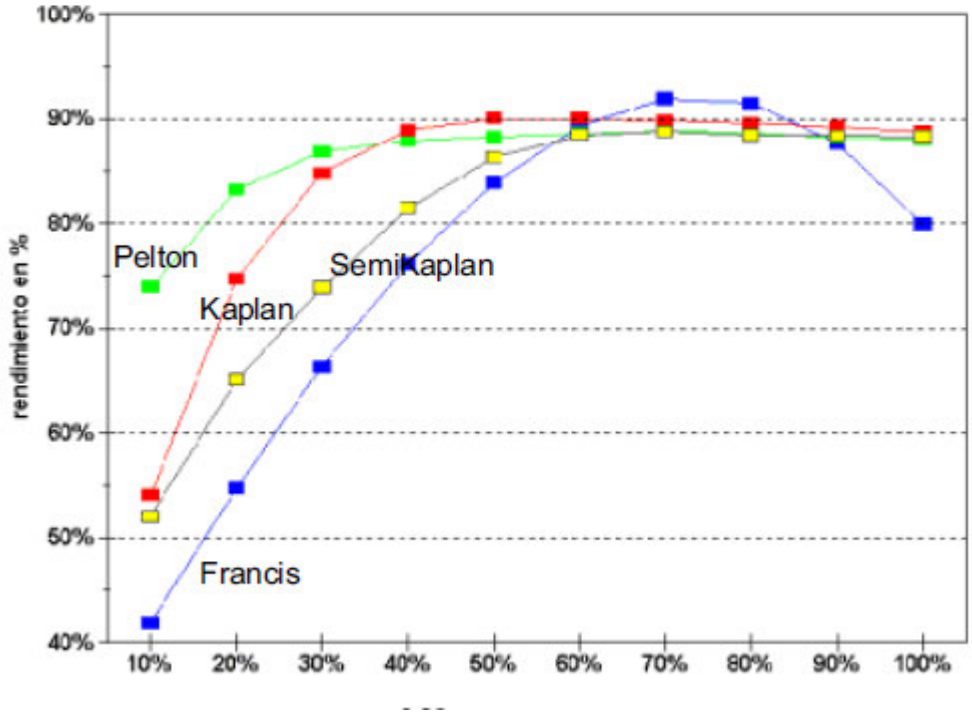


TECNOLOGÍAS



TECNOLOGÍAS

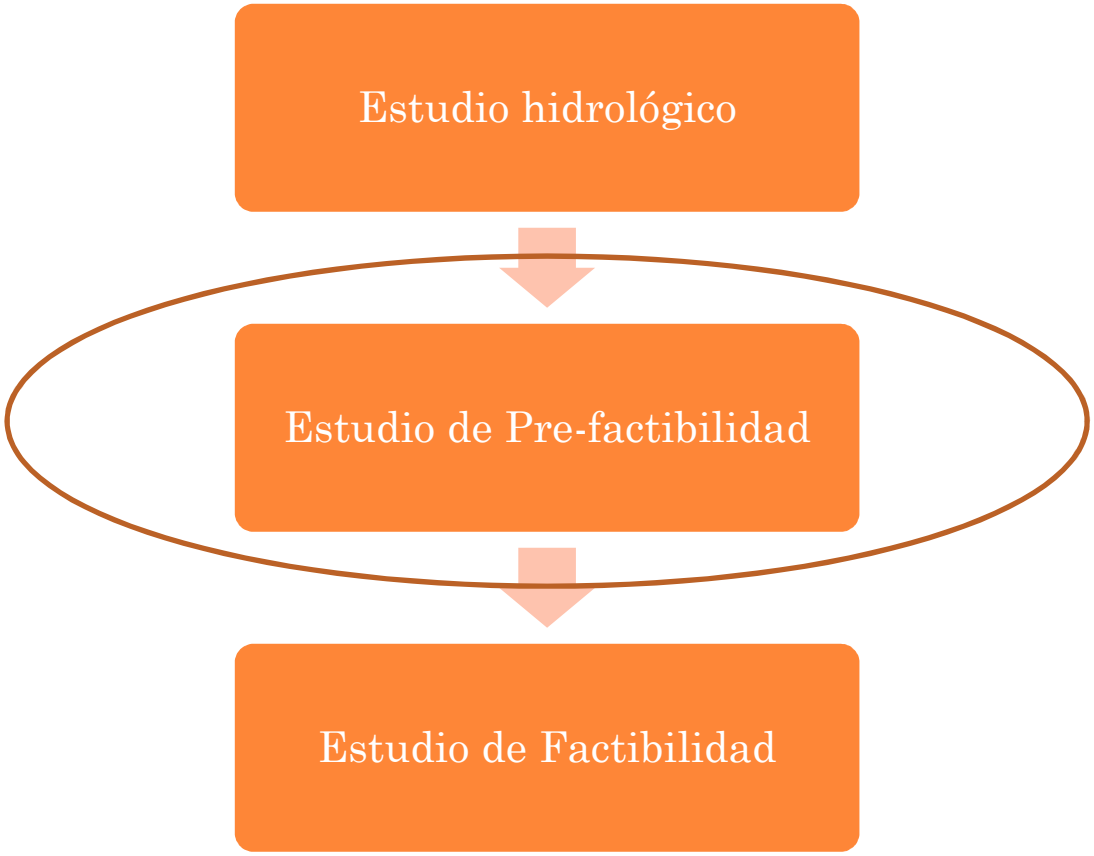
- Rendimientos
  - Rendimientos garantizados por fabricantes normados por IEC-41
  - Se define como relación entre potencia mecánica transmitida al eje de la turbina y la potencia hidráulica correspondiente al caudal y salto nominales.



AGENDA

- Emplazamiento
  - Principio de funcionamiento
  - Caudal
- Derechos de agua
- Tecnologías
  - Pelton
  - Francis
  - Kaplán
- Estudio de Prefactibilidad

ETAPAS DE UN PROYECTO



ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

- Corresponde a una primera evaluación del proyecto.
  - Se establece una cartera de soluciones.
  - Se determinan en forma gruesa los costos de inversión, fijos y de operación de cada solución.
  - Se estiman los ingresos de cada solución
  - => Flujo de caja
  - Basado en esta información, se escoge la mejor solución, pasando a la etapa de factibilidad donde se estudia en detalle la solución (ingeniería de detalles, costos más certeros, entre otros)

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

- Pasos a seguir
  - Derechos de agua
  - Hidrología del afluente (existe información?)
    - Estadística hidrológica
    - Estadística hidrológica + Altura neta + Rendimiento

Matrices de Energía Generable

  - Detalle de componentes de la central y su valorización (inversión)
  - Estimación de costos fijos y variables
  - Mediante matrices de energía generable: cálculo de energía y potencia generables (Ingresos)
  - Flujo de caja
  - Determinación de la capacidad óptima a instalar

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

- Ingresos
  - Energía
  - Potencia
  - Certificados ERNC
    - Precio?
    - Sostenibles en el tiempo?
- Inversiones
- Costos
  - Combustibles (para una minihidro no existe este costo)
  - No combustibles:
    - Peajes
    - Operación, Mantenimiento y Administración
  - Otros costos:
    - Panel de Expertos
    - CDEC - SIC